

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет/(ННІ) \_\_\_\_\_ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ \_\_\_\_\_

**ПОГОДЖЕНО**

Декан факультету (Директор ННІ)

\_\_\_\_\_ Інформаційних технологій \_\_\_\_\_  
(назва факультету (ННІ))

\_\_\_\_\_ Ігор БОЛБОТ \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (назва кафедри)

\_\_\_\_\_ Белла ГОЛУБ \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему \_\_\_\_\_ Використання комп'ютерних систем для обробки і  
покращення медичних записів \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 122 Комп'ютерні науки \_\_\_\_\_  
(код і найменування)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Інформаційні управляючі системи і технології \_\_\_\_\_  
(назва)

Орієнтація освітньої  
програми \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь та вчене звання) \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ Професор \_\_\_\_\_ Володимир Хиленко \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ Антон КУЗНЕЦОВ \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ здобувача)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) \_\_\_\_\_ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

**Доцент, Кандидат технічних наук** \_\_\_\_\_

Белла Львівна Голуб  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ**

Кузнєцов Антон Дмитрович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 122 Комп'ютерні Науки \_\_\_\_\_  
(код і найменування)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Інформаційні управляючі системи і технології \_\_\_\_\_  
(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

Використання комп'ютерних систем для обробки і покращення медичних записів затверджена наказом від “01” \_\_\_\_\_ Листопада \_\_\_\_\_ 2024р. № \_\_\_\_\_

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_ 14.11.2025 \_\_\_\_\_  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Перелік графічного матеріалу (за потреби) \_\_\_\_\_

Дата видачі завдання “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Володимир Хиленко  
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Антон КУЗНЄЦОВ  
(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

# Зміст

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Зміст</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Список скорочень</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Вступ</b>   | <b>4</b>  |
| Актуальність/релевантність   | 4         |
| Предмет і об'єкт дослідження   | 5         |
| Мета дослідження   | 5         |
| Зміст поставлених завдань  | 5         |
| Методи дослідження   | 6         |
| 1. Системний аналіз  | 6         |
| 2. Систематичний огляд літератури  | 7         |
| 3. Архітектурне моделювання  | 7         |
| Наукова новизна  | 7         |
| Структура магістерської роботи   | 8         |
| <b>Основні розділи</b>   | <b>10</b> |
| Розділ 1: Системний аналіз предметної області  | 10        |
| 1.1. Національна система eHealth України: архітектура, управління та контекст                            | 10        |
| 1.2. Проблема незапланованих повторних госпіталізацій протягом 30 днів                                   | 14        |
| 1.3 Висновок до розділу 1  | 15        |
| Розділ 2: Моделювання систем   | 16        |
| 2.1. Джерела даних та мультимодальна розробка ознак  | 17        |
| 2.2. Порівняльний аналіз методів прогнозного моделювання   | 20        |
| 2.3. Обґрунтування обраної моделі: Extreme Gradient Boosting (XGBoost)                                   | 21        |
| Розділ 3: Розробка та архітектура системи  | 22        |
| 3.1. Фундація взаємодії: використання інфраструктури України, що підтримує FHIR                          | 23        |
| 3.2. Інтеграція в режимі реального часу: архітектура, керована подіями, з CDS Hooks                      | 24        |
| 3.3. Архітектурна модель: безпечний, централізований прогнозний мікросервіс                              | 25        |
| 3.4. Стандартизовані результати та клінічна пояснюваність: ресурс FHIR RiskAssessment з інтегрованим ХАІ | 26        |
| 3.5. Безпека, конфіденційність та управління даними  | 27        |
| 3.6. Поглиблена архітектура безпеки та моделювання загроз в умовах воєнного стану                        | 28        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.6.1. Ландшафт кіберзагроз для eHealth України               | 29        |
| 3.6.2. Моделювання загроз за методологією STRIDE              | 29        |
| 3.6.3. Фізична та інфраструктурна стійкість                   | 33        |
| 3.6.4. Безпека життєвого циклу розробки (DevSecOps)           | 34        |
| Розділ 4: Результати досліджень та дорожня карта впровадження | 35        |
| 4.1. Пропонований план поетапного впровадження                | 36        |
| 4.2. Вирішення основних проблем впровадження                  | 39        |
| 4.3. Аналіз ризиків та стратегії їх мінімізації               | 41        |
| <b>Висновки</b>   | <b>44</b> |
| <b>Список посилань</b>  | <b>46</b> |
| <b>Додатки</b>  | <b>58</b> |

## Список скорочень

- **ABAC** – Attribute-Based Access Control
- **API** – Application Programming Interface
- **AUC** – Area Under the Curve
- **CCS** – Clinical Classification Software
- **CDB** – Central Database
- **CDSS** – Clinical Decision Support System
- **CV** – Coefficient of Variation
- **DL** – Deep Learning
- **EHDS** – European Health Data Space
- **EMRs** – Electronic Medical Records
- **FHIR** – Fast Healthcare Interoperability Resources
- **GNNs** – Graph Neural Networks
- **HL7** – Health Level Seven International
- **HRRP** – Hospital Readmissions Reduction Program
- **ICD** – International Classification of Diseases
- **LACE index** – Length of stay, Acute (emergent) admission, Comorbidity, and Emergency department visits
- **LLMs** – Large Language Models
- **LOS** – Length of stay
- **LR** – Logistic Regression
- **MIS** – Medical Information System
- **MLPs** – Multi-Layer Perceptrons
- **MoH** – Ministry of Health
- **NHSU** – National Health Service of Ukraine
- **NLP** – Natural Language Processing
- **RPM** – Remote Patient Monitoring
- **SDoH** – Socioeconomic Determinants of Health
- **SHAP** – Shapley Additive Explanations
- **SUS** – System Usability Scale
- **TLS** – Transport Layer Security
- **UPR** – Unplanned 30-day hospital readmission
- **XAI** – Explainable AI
- **XGBoost** – Extreme Gradient Boosting

# Вступ

## Актуальність/релевантність

Незапланована 30-денна повторна госпіталізація (НПГ) є серйозним викликом для сучасної охорони здоров'я, виступаючи ключовим показником фрагментованої медичної допомоги, незадовільних результатів лікування пацієнтів та значної економічної неефективності. У світовому масштабі НПГ створює значний фінансовий тягар, а витрати в таких системах, як Сполучені Штати, щорічно сягають приблизно 41,3 мільярда доларів. Цим випадкам часто можна запобігти, і вони свідчать про недоліки в плануванні після виписки, координації надання допомоги та підтримці пацієнтів, що призводить до підвищення смертності та збільшення витрат на лікування. Тому прагнення зменшити кількість НПГ є ключовим положенням ініціатив ціннісно-орієнтованої медицини в усьому світі.

Цей глобальний виклик набуває особливої та підвищеної нагальності в умовах України. Система охорони здоров'я країни наразі функціонує в умовах надзвичайного навантаження через активні бойові дії, стикаючись із безпрецедентними викликами, серед яких прямі атаки на інфраструктуру, масове внутрішнє переміщення населення та різке загострення кіберзагроз. У цих вкрай складних умовах ефективний розподіл обмежених клінічних ресурсів є не просто питанням економічної оптимізації, а й критично важливим компонентом національної стійкості та безпеки. Запобігання повторним госпіталізаціям, яких можна уникнути, безпосередньо зменшує навантаження на перевантажені медичні заклади та виснажених клініцистів, забезпечуючи наявність потужностей для найкритичніших випадків. Відтак, розробка передових інструментів для проактивного виявлення пацієнтів групи ризику та оптимізації безперервності надання допомоги має надзвичайну актуальність для підтримки стійкості системи охорони здоров'я України.

## Предмет і об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес зменшення незапланованих 30-денних повторних госпіталізацій у межах архітектурної структури національної системи eHealth України.

Предметом дослідження є розробка, застосування та інтеграційна архітектура прогностичної Системи підтримки прийняття рішень (СППР), що

використовує машинне навчання. Це охоплює аналіз високопродуктивних прогностичних моделей, визначення технічної архітектури, заснованої на сучасних стандартах інтероперабельності, таких як HL7 FHIR та "гачки" CDS (CDS Hooks), а також структуру для її безпечного застосування в децентралізованих, багатопостачальницькій екосистемі Медичних інформаційних систем (МІС) України.

## Мета дослідження

Основною метою цього дослідження є проектування стійкої, безпечної та інтероперабельної архітектури Системи підтримки прийняття рішень (СППР) для точного прогнозування ризику 30-денної повторної госпіталізації. Запропонована архітектура буде спеціально адаптована для ефективного функціонування в унікальному, фрагментованому багато-МІС середовищі України та буде спроектована для стратегічного узгодження з цілями управління даними та інтероперабельності Європейського простору медичних даних (EHDS).

## Зміст поставлених завдань

Для досягнення поставленої мети будуть виконані такі **завдання дослідження**:

1. Проаналізувати поточну архітектуру національної системи eHealth України, включаючи її дворівневу структуру, модель управління, основу на базі FHIR (Ресурси швидкої взаємодії в охороні здоров'я), та специфічні виклики, спричинені умовами воєнного часу.
2. Провести огляд світових найкращих практик та сучасного стану прогностичного моделювання ризику повторної госпіталізації, порівнюючи ефективність різних методів машинного навчання.
3. Запропонувати високопродуктивну модель машинного навчання (наприклад, XGBoost) та визначити вичерпний, мультимодальний набір ознак, що включає структуровані дані EM3 (Електронних медичних записів), неструктуровані клінічні нотатки та соціально-економічні детермінанти здоров'я.
4. Розробити детальну архітектуру технічної інтеграції, яка використовує стандарти HL7 FHIR та "гачки" CDS (CDS Hooks) для надання прогностичних, пояснюваних оцінок ризику в реальному часі безпосередньо в клінічний робочий процес на різних платформах МІС.

5. Визначити стратегічну дорожню карту для поетапного впровадження, валідації та масштабування СППР (Системи підтримки прийняття рішень), розглядаючи критичні виклики безпеки, управління даними та етичні проблеми, притаманні такій системі.

## Методи дослідження

Методологічна база, застосована у цьому дослідженні, є багатометодною, поєднуючи усталені аналітичні, порівняльні та проектно-орієнтовані підходи для вирішення складності розробки надійної Системи підтримки прийняття рішень (СППР) для українського середовища eHealth. Були використані такі ключові методи:

### 1. Системний аналіз

Системний аналіз був початковим і фундаментальним методом, застосованим для деконструкції Об'єкта дослідження: архітектури та операційного середовища національної системи eHealth України. Це включало детальний розгляд її дворівневої структури (Центральна база даних та периферійні Медичні інформаційні системи), ролей ключових стейкхолдерів (МОЗ, НСЗУ, Е-Здоров'я), її основи на базі FHIR (Ресурси швидкої взаємодії в охороні здоров'я), а також специфічних викликів, спричинених умовами високого ризику воєнного часу. Метою було виявлення структурних обмежень і можливостей, критично важливих для забезпечення стійкості та інтеоперабельності запропонованої СППР.

### 2. Систематичний огляд літератури

Був проведений систематичний огляд літератури для аналізу світових найкращих практик та сучасного стану прогностичного моделювання. Огляд зосереджувався на двох основних напрямках:

- Прогностичні моделі: Порівняльний аналіз методів машинного навчання (наприклад, класичних індексів ризику, як-от LACE, проти передових моделей, як-от XGBoost) для оцінки ризику 30-денної повторної госпіталізації з метою вибору високопродуктивного, клінічно інтерпретованого алгоритму.
- Стандарти інтеоперабельності: Вивчення світових стандартів медичних даних (зокрема HL7 FHIR та "гачків" CDS (CDS Hooks)) для визначення найбільш ефективної структури інтеграції в реальному часі для цільової архітектури.

### 3. Архітектурне моделювання

Архітектурне моделювання було застосовано як проектно-орієнтований метод для синтезу висновків початкового аналізу та огляду в практичне рішення. Це включало проектування запропонованої архітектури СППР, зокрема визначення шаблонів технічної інтеграції (наприклад, централізований прогностичний мікросервіс, подієво-орієнтована архітектура "гачків" CDS (CDS Hooks)) та формалізацію потоку даних із залученням ресурсів FHIR. Цей метод забезпечив, що кінцевий дизайн СППР був стратегічно узгоджений із національним багатопостачальницьким середовищем, а також вимогами до безпеки та управління даними.

#### Наукова новизна

Наукова новизна цього дослідження полягає не у створенні нового прогностичного алгоритму, а в розробці комплексного рішення, адаптованого для унікально складного реального середовища. У той час як багато досліджень зосереджуються на оптимізації алгоритмічної точності моделей повторної госпіталізації у стабільних, монолітних середовищах даних, ця робота розглядає критичну, недостатньо досліджену область розгортання такої системи в рамках фрагментованої, в умовах високого ризику, але цифрової національної екосистеми eHealth.

Новизна зосереджена на трьох ключових внесках:

1. Архітектурна стійкість: Пропонування архітектури СППР, яка є стійкою до розбіжностей у даних та потенційних збоїв інфраструктури, характерних для багатопостачальницької системи, що функціонує в умовах воєнного навантаження.
2. Прагматична інтероперабельність: Розробка рішення, яке використовує стандарт FHIR для забезпечення практичної інтероперабельності між різними постачальниками, виходячи за рамки теоретичних моделей для вирішення реальних інтеграційних проблем.
3. Зміна фокусу: Перенесення дослідницького фокусу з незначних покращень точності моделі на критичні людські фактори та системні виклики клінічного впровадження, довіри та інтеграції в робочий процес в умовах високих ризиків.

#### Структура магістерської роботи

## **Розділ 1: Системний аналіз предметної області**

Цей розділ деконструює унікальну архітектуру національної системи eHealth України, включаючи її дворівневу структуру та специфічні виклики, спричинені операційним середовищем воєнного часу.

## **Розділ 2: Системне моделювання**

Цей розділ проводить систематичний огляд літератури щодо світових найкращих практик та найсучасніших моделей машинного навчання для оцінки ризику повторної госпіталізації з метою обґрунтування вибору оптимального мультимодального прогностичного алгоритму.

## **Розділ 3: Технічна архітектура та інтеграція**

Цей розділ використовує архітектурне моделювання для розробки стійкого та інтероперабельного рішення СППР, визначаючи його основну структуру, потік даних та інтеграцію в реальному часі за допомогою HL7 FHIR та "гачків" CDS (CDS Hooks).

## **Розділ 4: Стратегія впровадження та управління**

Цей фінальний розділ окреслює стратегічну, поетапну дорожню карту для розгортання, клінічної валідації та безперервного моніторингу СППР, розглядаючи критичні вимоги до безпеки та етичного управління.

# Основні розділи

## Розділ 1: Системний аналіз предметної області

### 1.1. Національна система eHealth України: архітектура, управління та контекст

Шлях України до цифрової трансформації охорони здоров'я є визначним прикладом стратегічного проектування та стійкості. Система була архітектурно спроектована не лише як технологічне оновлення, але й як фундаментальна основа масштабної національної реформи охорони здоров'я. Цей контекст є ключовим для розуміння її сильних сторін та унікальних викликів, з якими вона стикається.

Архітектурна геніальність системи eHealth України полягає в її гібридній дворівневій структурі. Ця модель була свідомо спроектована для забезпечення балансу між потребою в національній стандартизації та цілісності даних, з одного боку, та гнучкістю й інноваційністю конкурентного ринку на місцевому рівні, з іншого.

**Центральний рівень: Центральна база даних (ЦБД):** В основі системи знаходиться єдина, національна Центральна база даних. Технічне адміністрування та управління цією ЦБД здійснюється Державним підприємством «Електронне здоров'я» («Е-Здоров'я»). Вона функціонує як визначене національне «єдине джерело істини» для всіх основних медичних даних. Її відповідальність включає ведення критично важливих національних реєстрів, таких як реєстр ідентифікованих пацієнтів, закладів охорони здоров'я, декларацій пацієнт-лікар, фахівців та рецептів. Вирішально важливо, що вона також містить основні Електронні медичні записи (ЕМЗ) кожного пацієнта в системі. ЦБД є центральним хабом, через який протікають усі стандартизовані дані, забезпечуючи уніфікований національний масив даних.

**Периферійний рівень: Медичні інформаційні системи (МІС):** На інституційному рівні, де надається медична допомога, система є децентралізованою. Понад 40 різних, конкуруючих Медичних інформаційних систем (МІС) надають фронтальне програмне забезпечення, яким щоденно користуються клініцисти та адміністративний персонал. Ці платформи МІС розробляються динамічним ринком приватних, локальних ІТ-компаній. Кожна лікарня чи клініка може обрати ту МІС, яка найкраще відповідає її

специфічним потребам робочого процесу та бюджету. Однак ці системи не є незалежними "силосами"; вони зобов'язані підключатися до Центральної бази даних через обов'язковий, контрольований урядом Інтерфейс прикладного програмування (API). Це гарантує, що хоча користувацький досвід може відрізнятися, дані, якими обмінюються з національною системою, відповідають уніфікованому, стандартизованому формату.

Ця централізовано-розподілена модель забезпечує значну стратегічну перевагу. Контролюючи рівень API, але дозволяючи конкурентний ринок для фронтальних систем, Україна структурно запобігла проблемі "**залежності від постачальника**", яка є хронічною для багатьох західних систем охорони здоров'я. Це сприяє постійним інноваціям серед постачальників МІС, підвищує чутливість до місцевих потреб і знижує витрати, гарантуючи при цьому інтероперабельність на національному рівні.

Ефективне функціонування цієї складної системи залежить від чіткого розподілу обов'язків між чотирма ключовими стейкхолдерами:

- **Міністерство охорони здоров'я (МОЗ):** МОЗ є головним органом формування політики. Воно встановлює загальне стратегічне бачення реформи охорони здоров'я, розробляє правову базу та відповідає за загальну траєкторію розвитку системи eHealth як інструменту реалізації політики.
- **Національна служба здоров'я України (НСЗУ):** НСЗУ функціонує як національний страховик з єдиним платником. Вона є основним користувачем даних, згенерованих системою eHealth. НСЗУ використовує дані з ЦБД для розрахунку фінансової потреби в медичних послугах, управління національною програмою медичних гарантій та виконання своїх фінансових зобов'язань. Критичною функцією НСЗУ є верифікація та контроль якості на основі даних; вона моніторить дані для забезпечення відповідності постачальників послуг договірним умовам, виявлення потенційного шахрайства та оплати лише за якісно надані послуги, тим самим реалізуючи принцип «гроші йдуть за пацієнтом».
- **Державне підприємство «Е-Здоров'я»:** Ця організація є технічним серцем системи. Вона відповідає за адміністрування, безпеку та безперервний розвиток Центральної бази даних та **API-шлюзу**. Її управління структуровано для посилення конфіденційності даних; «Е-Здоров'я» керує інфраструктурою, але не має доступу до чутливих персональних медичних даних, що в ній містяться. Її єдиний фокус —

забезпечення технічної інтероперабельності, безпеки та продуктивності центрального компонента.

- **Приватні постачальники МІС:** Ці локальні ІТ-компанії формують конкурентну екосистему на периферійному рівні. Вони відповідають за цифровізацію робочого середовища закладів охорони здоров'я, обробляючи пряме введення, документування та управління всіма первинними даними про пацієнтів через програмні інтерфейси, які вони розробляють та підтримують.

Наріжним каменем стратегії eHealth України є раннє та широке впровадження стандарту **FHIR (Ресурси швидкої взаємодії в охороні здоров'я)** від Health Level Seven International (HL7). FHIR — це сучасний, веб-орієнтований стандарт для електронного обміну медичною інформацією. На відміну від старих, документо-орієнтованих стандартів, FHIR базується на API та розбиває дані на дискретні, керовані "**ресурси**" (наприклад, "Пацієнт", "Спостереження", "Ліки").

Цей вибір є ключовим фактором для майбутньої інтеграції та структурно пом'якшує довгострокові витрати, пов'язані з поганою інтероперабельністю. Забезпечуючи дотримання стандарту FHIR через центральний API, Україна побудувала систему, яка за своєю суттю готова до впровадження передових застосувань, таких як **Система підтримки прийняття рішень (СППР)**, запропонована в цій роботі. Це гарантує, що дані, незалежно від того, від якого з понад 40 постачальників МІС вони походять, структуровані в послідовному, передбачуваному та машинозчитуваному форматі, готовому для аналізу.

- Функціонування цієї передової системи в умовах активної, повномасштабної війни створює низку екстремальних викликів, які перетворюють стандартні операційні проблеми на питання національної безпеки.
- **Загострення кіберзагроз:** Сектор охорони здоров'я у світі є найбільш фінансово вразливим до витоків даних. В Україні цей ризик експоненційно посилюється, оскільки кібератаки на критичну інфраструктуру є основним інструментом сучасної війни. Таким чином, захист системи eHealth є не просто питанням відповідності вимогам, а життєво важливим мандатом національної безпеки для захисту

чутливих даних пацієнтів і забезпечення безперервності функціонування системи охорони здоров'я.

- **Стійкість та цілісність даних:** Постійна загроза фізичних атак на місцеву інфраструктуру (наприклад, лікарні, центри обробки даних) та серйозні відключення електроенергії вимагали сміливого стратегічного рішення: міграції державних даних, включно з медичними, до захищених міжнародних хмарних сховищ. Це забезпечує високу доступність даних та безперервність роботи, роблячи систему стійкою до кінетичних атак.
- **Зручність використання та вигорання клініцистів:** Хоча середовище МІС із багатьма постачальниками сприяє інноваціям, воно також створює ризик фрагментованого, непослідовного користувацького досвіду для клініцистів. В умовах високого стресу та великого навантаження у військовій охороні здоров'я, погано спроектовані або неефективні програмні інтерфейси можуть значно збільшувати когнітивне навантаження. Це тертя в робочому процесі може безпосередньо призвести до прискореного професійного вигорання та підвищеного ризику медичних помилок, що робить формальне регулювання зручності використання МІС нагальною необхідністю.

## 1.2. Проблема незапланованих повторних госпіталізацій протягом 30 днів

**Незапланована 30-денна повторна госпіталізація (НПГ)** є глобально визнаним показником якості медичної допомоги та ефективності системи. Вона визначається як незапланована **госпіталізація** до закладу невідкладної допомоги протягом 30 днів після виписки з попереднього стаціонару.

Вплив НПГ є як клінічним, так і фінансовим. З клінічної точки зору, **повторна госпіталізація** часто свідчить про збій у безперервності надання допомоги. Це може вказувати на неадекватне планування після виписки, недостатню освіту пацієнтів щодо самолікування, недостатню соціальну підтримку або відсутність координації допомоги між лікарнею та первинною ланкою. Ці збої можуть призвести до погіршення початкового стану пацієнта, розвитку нових ускладнень і були пов'язані з підвищеною смертністю пацієнтів.

Фінансовий вплив є приголомшливим. Тільки у Сполучених Штатах НПГ серед пацієнтів Medicare сприяє щорічному фінансовому тягарю, який оцінюється у 41,3 мільярда доларів. Ці прямі витрати посилюються

прихованими витратами через погану ІТ-інфраструктуру охорони здоров'я. Медичні помилки, які часто виникають через фрагментацію даних та погану комунікацію між системами, коштують галузі додатково приблизно 20 мільярдів доларів щорічно. **Повторні госпіталізації** є основним джерелом цих витрат, яких можна уникнути, що робить їхнє зменшення головною метою для систем охорони здоров'я, які прагнуть фінансової стійкості.

Оскільки **повторним госпіталізаціям** часто можна запобігти, їхній показник використовується на міжнародному рівні як потужний індикатор якості та координації стаціонарної допомоги. Високий рівень **повторної госпіталізації** вказує на системні недоліки, а не на ізольовані клінічні випадки. Він відображає здатність лікарні успішно перевести пацієнта назад у громаду, забезпечуючи його знаннями, ресурсами та підтримкою, необхідними для ефективного управління своїм станом. Саме тому основні міжнародні політичні ініціативи, такі як Програма зменшення повторних госпіталізацій (HRRP) у Сполучених Штатах, безпосередньо пов'язують виплати лікарням із показниками **повторної госпіталізації**, створюючи потужний фінансовий стимул для лікарень інвестувати у вдосконалення процесів виписки та допомоги після неї.

Протягом десятиліть системи охорони здоров'я намагалися ідентифікувати пацієнтів із високим ризиком **повторної госпіталізації**, використовуючи прості, адміністративні моделі ризику. Найвідомішим із них є індекс LACE — легко обчислюваний бал, отриманий із чотирьох факторів: тривалість перебування (*Length of stay*), гостра (*Acute/emergent*) **госпіталізація**, супутні захворювання (*Comorbidity*, кількість хронічних станів) та відвідування відділення невідкладної допомоги (*Emergency department visits*) за останні шість місяців.

Основні переваги індексу LACE та подібних моделей полягають у їхній прозорості та простоті. Вони покладаються на легкодоступні адміністративні дані та можуть бути розраховані без складного програмного забезпечення. Однак їхня прогностична здатність суттєво обмежена. Емпіричні дослідження послідовно показують, що індекс LACE має лише «задовільну» здатність до дискримінації, причому його показник Площі під кривою (AUC) зазвичай коливається між 0,61 та 0,70. Це означає, що він часто не може точно розрізнити пацієнтів, які будуть госпіталізовані повторно, і тих, хто не буде. Ця межа продуктивності пояснюється його залежністю від невеликої кількості необроблених змінних, які не відображають складних клінічних, соціальних та функціональних нюансів, які насправді впливають на ризик

**повторної госпіталізації.** Ця неадекватність вимагає вивчення більш складних, керованих даними методологій, таких як моделі машинного навчання, які становлять основу цього дослідження.

### 1.3 Висновок до розділу 1

Підсумовуючи, системний аналіз національної архітектури eHealth України виявляє унікальне, двостороннє операційне середовище. У технологічному плані система є надійною та перспективною, характеризується **FHIR-**орієнтованою, централізовано-розподіленою моделлю даних, що сприяє розширеному обміну даними в реальному часі в багатопостачальницькій екосистемі. В організаційному плані система продемонструвала стійкість і стратегічну узгодженість, керовану ключовими суб'єктами, як-от Міністерство охорони здоров'я та «Е-Здоров'я». Проте, ця технологічно передова структура функціонує в умовах надзвичайного, постійного тиску, включаючи безперервні загрози інфраструктурі в умовах війни, загострення кіберзагроз та значне вигорання клініцистів.

Отже, будь-яка ефективна **Система підтримки прийняття рішень (СППР)**, спрямована на зменшення 30-денних **повторних госпіталізацій**, повинна бути спроектована не лише з розрахунком на продуктивність, але й на стійкість. Ефективне рішення повинно бути (1) інтегрованим за задумом, щоб безперешкодно інтегруватися в багатопостачальницьке середовище, (2) високобезпечним і стійким до загроз воєнного часу, (3) уважним до робочого процесу клініцистів, щоб уникнути посилення професійного вигорання, та (4) масштабованим і централізовано керованим для забезпечення сталої якості та широкого розгортання в умовах напруженої національної інфраструктури охорони здоров'я.

## Розділ 2: Моделювання систем

Успішне прогнозування ризику **повторної госпіталізації** є не просто алгоритмічним викликом; це, по суті, проблема науки про дані, яка вимагає комплексного підходу до збору даних, конструювання ознак та вибору моделі. Цей розділ деталізує аналітичний двигун, що лежить в основі запропонованої **Системи підтримки прийняття рішень (СППР)**. Він окреслює мультимодальні активи даних, необхідні для побудови високоточної прогностичної моделі, надає порівняльний аналіз провідних методів моделювання та завершується чітким обґрунтуванням вибору оптимального алгоритмічного підходу, який збалансовує точність

прогнозування з критичною потребою в клінічній інтерпретованості та практичному розгортанні.

## 2.1. Джерела даних та мультимодальна розробка ознак

Надійна прогностична модель ризику повторної госпіталізації не може покладатися на єдиний тип даних. Її точність прямо пропорційна багатству та різноманітності вхідних ознак. Таким чином, запропонована модель спроектована як мультимодальна, інтегруючи дані з трьох різних, але взаємодоповнюючих доменів для створення всебічного, 360-градусного огляду пацієнта.

Основою будь-якої моделі повторної госпіталізації є значний репозиторій структурованих даних, що міститься в **ЕМЗ (Електронних медичних записах)**. Ці дані є кількісними, кодованими та забезпечують лонгітюдну історію клінічного шляху пацієнта. Ключові категорії включають:

1. **Демографічні дані пацієнта:** Основна статична інформація, як-от вік і стать, які є незмінно потужними предикторами результатів лікування.
2. **Патерни використання медичних послуг:** Історичні дані про залучення до системи охорони здоров'я, включно з кількістю попередніх госпіталізацій, тривалістю перебування (ТП) для поточної та попередніх госпіталізацій, статус виписки (наприклад, додому, до кваліфікованого закладу догляду) та кількість відвідувань відділення невідкладної допомоги.
3. **Діагнози та супутні захворювання (Коморбідності):** Кодована діагностична інформація, як правило, із використанням системи Міжнародної класифікації хвороб (МКХ). Це дозволяє кількісно оцінити коморбідне навантаження на пацієнта.
4. **Переліки лікарських засобів:** Всеосяжні списки призначених ліків, що дають змогу ідентифікувати поліпрагмазію (використання численних ліків), яка є істотним фактором ризику.
5. **Клінічні показники:** Кількісні результати лабораторних тестів (наприклад, печінкові ферменти, тести функції нирок) та зафіксовані життєво важливі показники (наприклад, частота серцевих скорочень, артеріальний тиск, частота дихання, сатурація киснем).

**Конструювання ознак для структурованих даних:** Необроблені структуровані дані часто є занадто складними та високорозмірними для безпосереднього використання. Вимагається складне конструювання ознак (Feature Engineering), щоб перетворити цю інформацію на значущі

представлення. Наприклад, замість використання тисяч окремих кодів МКХ, вони часто агрегуються у кілька сотень клінічно узгоджених категорій за допомогою таких фреймворків, як Програмне забезпечення для клінічної класифікації (Clinical Classification Software, CCS). Це зменшує розмірність ознак, зберігаючи при цьому клінічне значення. Аналогічно, для життєво важливих показників модель повинна використовувати не лише необроблені значення, але й обчислювати метрики варіативності, такі як Коефіцієнт варіації (КВ) для температури тіла та дихання. Високий КВ може вказувати на фізіологічну нестабільність, що є потужним предиктором наближення небажаних явищ, які можуть передувати повторній госпіталізації.

У той час як структуровані дані надають інформацію про "що" стану пацієнта, неструктуровані дані, що містяться у клінічних записах у вільному тексті, надають безцінні відомості про "чому" та "як". Ці наративи, написані клініцистами, містять критично важливий контекст, який часто втрачається в кодованих полях. Це включає:

1. **Соціальний та функціональний статус:** Ньюансовані описи житлової ситуації пацієнта, наявності сімейної чи соціальної підтримки та його здатності виконувати повсякденну життєдіяльність.
2. **Прихильність до лікування та медична грамотність:** Спостереження клініцистів щодо розуміння пацієнтом свого стану, його готовності чи здатності дотримуватися плану лікування, а також потенційні бар'єри для отримання медичних послуг.
3. **Складні клінічні наративи:** Детальні описи історії хвороби пацієнта та клінічного мислення, які не можуть бути повністю охоплені дискретними кодами.

**Конструювання ознак для неструктурованих даних:** Вилучення значущих ознак із цього тексту вимагає використання передових методів обробки природної мови (НЛП). Сучасні підходи, включно з великими мовними моделями (ВММ, LLMs), можуть бути використані для аналізу виписних епікризів, записів про перебіг хвороби та сестринських нотаток для генерування високорозмірних ознак. Ці ознаки можуть фіксувати тонкі індикатори психосоціального ризику, такі як сентимент нотаток або частота термінів, пов'язаних із "недостатньою соціальною підтримкою" або "неприхильністю до лікування". Для ще більш просунутого синтезу можуть бути застосовані такі методи, як графові нейронні мережі (ГНМ, GNNs), для моделювання складних взаємозв'язків між структурованими елементами ЕМЗ (як-от код діагнозу) та сутностями, згаданими в неструктурованому

тексті, створюючи уніфіковане, мультимодальне представлення пацієнта. Проте, критично важливо керувати обчислювальними витратами цих методів для забезпечення низької затримки, необхідної для роботи **СППР (Системи підтримки прийняття рішень)** у режимі реального часу на місці надання медичної допомоги.

Моделі з найвищою продуктивністю виходять за межі даних, згенерованих у межах лікарні, включаючи зовнішні фактори, що суттєво впливають на результати після виписки.

1. **Соціально-економічні детермінанти здоров'я (СЕДЗ):** Ці ознаки фіксують соціальний та економічний контекст, у якому проживає пацієнт. Фактори, такі як низький дохід, низький рівень освіти, раса/етнічна приналежність та сімейний стан, незмінно асоціюються зі значно вищими ризиками смертності та **повторної госпіталізації**, з коефіцієнтами ризику (Hazard Ratios) від 1.45 до 1.62. Ці фактори є потужними предикторами доступу пацієнта до ресурсів після виписки, таких як транспорт, здорова їжа та безпечне житло.
2. **Дистанційний моніторинг пацієнтів (ДМП, RPM):** Дані з носімих пристроїв (наприклад, смарт-годинників) та інших засобів домашнього моніторингу надають потік фізіологічних даних у режимі реального часу, що прогнозує функціональний статус пацієнта та прихильність до лікування після виписки. Дослідження демонструють, що моделі, які включають ознаки сенсорів носімих пристроїв, такі як варіабельність серцевого ритму (ентропія) та показники рухливості (наприклад, добова кількість кроків), можуть досягати чудових прогностичних можливостей, з піковими значеннями AUC до 83%.

Шляхом конструювання всебічного набору ознак, який гармонізує ці три модальності даних — структуровані клінічні дані, неструктурований нарративний контекст та зовнішні соціальні й фізіологічні дані, — модель може досягти рівня прогностичної точності, що значно перевершує традиційні підходи.

## 2.2. Порівняльний аналіз методів прогнозного моделювання

Вибір техніки моделювання передбачає критичну оцінку компромісу між прогностичною продуктивністю (точністю), інтерпретованістю моделі (**пояснюваністю**) та обчислювальною складністю.

1. **Традиційні моделі (Логістична регресія):** Логістична регресія (ЛР) слугує важливою базою для оцінки продуктивності. Це лінійна модель, яка є надзвичайно прозорою та інтерпретованою, оскільки внесок кожної ознаки в остаточний показник ризику представлений видимим коефіцієнтом. Проте її продуктивність часто є помірною (AUC зазвичай 0,60–0,79), оскільки вона не може фіксувати складні, нелінійні взаємозв'язки та взаємодії, які є характерними для клінічних даних.
2. **Передові ансамблеві методи (XGBoost, CatBoost):** Ансамблеві методи постійно визнаються передовими (state-of-the-art) для прогнозування ризику з використанням табличних даних ЕМЗ. Ці алгоритми, такі як Random Forest, градієнтний бустинг і, зокрема, Extreme Gradient Boosting (**XGBoost**), об'єднують прогнози численних простих моделей (як правило, дерев рішень) для отримання єдиного, високоточного результату. Дослідження неодноразово підтверджують, що моделі **XGBoost** досягають найвищої загальної продуктивності у прогнозуванні незапланованої госпіталізації протягом 30 днів (UPR), зі значеннями AUC від 0,810 до 0,830. Вони є надійними, масштабованими та вміють справлятися з високою розмірністю та відсутніми значеннями, поширеними у клінічних наборах даних.
3. **Глибоке навчання (ГН, DL) та Графові нейронні мережі (ГНМ, GNNs):** Моделі Глибокого навчання, такі як багатошарові перцептрони (БШП, MLPs), пропонують потенційні переваги в автоматичному вивченні складних патернів із необроблених даних. Однак, для прогнозування **повторної госпіталізації** з табличними даними, їх продуктивність була неоднозначною, часто вони не перевершували значно добре налаштовані ансамблеві методи. ГНМ є особливо перспективною підмножиною для інтеграції мультимодальних даних. Основними недоліками моделей ГН є їх значні обчислювальні вимоги та їхня властива природа "чорного ящика", що ускладнює їх інтерпретацію — істотний бар'єр для клінічної довіри та впровадження.

### 2.3. Обґрунтування обраної моделі: Extreme Gradient Boosting (XGBoost)

На основі порівняльного аналізу, ансамблевий метод — зокрема, **XGBoost** — визнано оптимальним вибором для цього завдання. Це рішення обґрунтовується трьома ключовими факторами, які безпосередньо узгоджуються з метою проєкту щодо створення клінічно корисної та практично впроваджуваної системи.

1. **Вища прогностична продуктивність:** З документованою продуктивністю AUC, що перевищує 0,80, **XGBoost** забезпечує високий рівень дискримінації, необхідний для клінічно ефективної **СППР (Системи підтримки прийняття рішень)**. Ця точність має вирішальне значення для мінімізації як хибнонегативних результатів (нездатність ідентифікувати пацієнтів високого ризику, які згодом потребують дорогого лікування), так і хибнопозитивних результатів (непотрібний розподіл дефіцитних ресурсів після виписки пацієнтам із низьким ризиком). Це гарантує, що система є одночасно клінічно ефективною та економічно виправданою.
2. **Надійність і масштабованість зі складними клінічними даними:** Дані ЕМЗ у реальних умовах є за своєю суттю неорганізованими та складними. **XGBoost** спеціально розроблений для роботи в такому середовищі. Його швидкість, масштабованість і надійність в умовах високої розмірності та відсутніх значень роблять його винятково придатним для системи національного масштабу, як-от українська, де дані агрегуються з понад 40 різних периферійних платформ медичних інформаційних систем (МІС) із різною якістю даних.
3. **Наявність інтегрованих методів пояснюваності для клінічної довіри:** Це найбільш критичний фактор для успішного впровадження. Прогностичний бал, незалежно від його точності, навряд чи буде довірений клініцистом або використаний, якщо він надається з **непояснюваного ШІ (ХАІ)** — "чорного ящика". Високі показники ігнорування попереджень (часто перевищують 90%) у середовищах **СППР** є прямим наслідком такої відсутності довіри. **XGBoost** сумісний із найсучаснішими методами **пояснюваного ШІ (ХАІ)**, найбільш помітним з яких є **SHAP-значення** (Shapley Additive Explanations). **SHAP-значення** можуть кількісно оцінити точний внесок кожної ознаки пацієнта в остаточний показник ризику. Це дозволяє **СППР** представляти не просто показник ризику, а чітке, інтуїтивно зрозуміле обґрунтування (наприклад, "Високий ризик: 75%. Спричинено: Попередня госпіталізація [+25%], Функція нирок [-10%], Вік [+15%]"). Це перетворює модель з "чорного ящика" на прозорий і надійний інструмент, сприяючи клінічному прийняттю, що є першочерговим для її успіху.

### Розділ 3: Розробка та архітектура системи

Встановивши аналітичну основу прогностичної моделі у попередньому розділі, цей розділ присвячений критичному виклику її практичної реалізації.

Високопродуктивна модель є клінічно марною, якщо вона не може бути безперешкодно, безпечно та ефективно інтегрована в існуючий клінічний робочий процес. У цьому розділі детально описано запропоновану технічну архітектуру для розгортання моделі ризику **повторної госпіталізації** на базі **XGBoost** у національній системі електронної охорони здоров'я України. Архітектура розроблена для використання існуючих переваг системи, а саме її фундаментального використання стандарту **HL7 FHIR** (Ресурси швидкої взаємодії в охороні здоров'я), водночас впроваджуючи сучасний, керований подіями патерн інтеграції, який забезпечує доставку оперативної аналітичної інформації до клініцистів у режимі реального часу безпосередньо в точці надання медичної допомоги.

### 3.1. Фундація взаємодії: використання інфраструктури України, що підтримує FHIR

Життєздатність запропонованої системи принципово забезпечується стратегічним і завчасним прийняттям Україною стандарту **HL7 FHIR**. На відміну від застарілих систем, які вимагають складних, спеціалізованих інтеграцій, українська архітектура електронної охорони здоров'я з її центральним **API-шлюзом** забезпечує стандартизовану "цифрову магістраль" для обміну даними. Ця існуюча інфраструктура **FHIR** є основою, на якій побудована вся **СППР (Система підтримки прийняття рішень)**.

Прогностична модель вимагає розширеного набору мультимодальних даних, як детально описано у Розділі 2. Українська система розроблена для надання цих даних у стандартизованому форматі через ресурси **FHIR**. Коли запитується прогноз, необхідні дані пацієнта можуть бути універсально отримані та зрозумілі, незалежно від того, від якого з понад 40 периферійних постачальників МІС вони походять. Ключові ресурси **FHIR**, які забезпечують стандартизовані вхідні дані для моделі, включають:

- **Patient (Пацієнт):** Надає основні демографічні ознаки (вік, стать).
- **Encounter (Звернення):** Деталізує поточне та попередні перебування у лікарні, надаючи критичні ознаки, як-от тривалість перебування, тип госпіталізації (екстрена чи планова) та статус виписки.
- **Condition & Procedure (Стан і Процедура):** Надає кодовану діагностичну та процедурну історію (коди МКХ), які конструюються в показники коморбідності.

- **Observation (Спостереження):** Надає кількісні клінічні дані, включно з життєво важливими показниками та результатами лабораторних тестів.
- **MedicationRequest & MedicationStatement (Запит на ліки та Запис про ліки):** Надає перелік призначених ліків, що використовується для ідентифікації поліпрагмазії.

Забезпечуючи відповідність **FHIR** на національному рівні, Україна вже вирішила найістотніший бар'єр для впровадження передових аналітичних систем: відсутність стандартизованих, машинозчитуваних даних.

### 3.2. Інтеграція в режимі реального часу: архітектура, керована подіями, з CDS Hooks

Щоб бути ефективним, показник ризику **повторної госпіталізації** повинен бути доставлений клініцисту в точний момент прийняття рішення, а не бути прихованим у ретроспективному звіті. Запропонована архітектура досягає цього за допомогою керованого подіями патерну, використовуючи специфікацію "**гачки**" **CDS (CDS Hooks)** — стандарт HL7, розроблений саме для цієї мети.

"**Гачки**" **CDS (CDS Hooks)** забезпечують фреймворк "публікація/підписка", який з'єднує клінічні робочі процеси в межах **ЕМЗ** із зовнішніми службами підтримки прийняття рішень. Процес відбувається наступним чином:

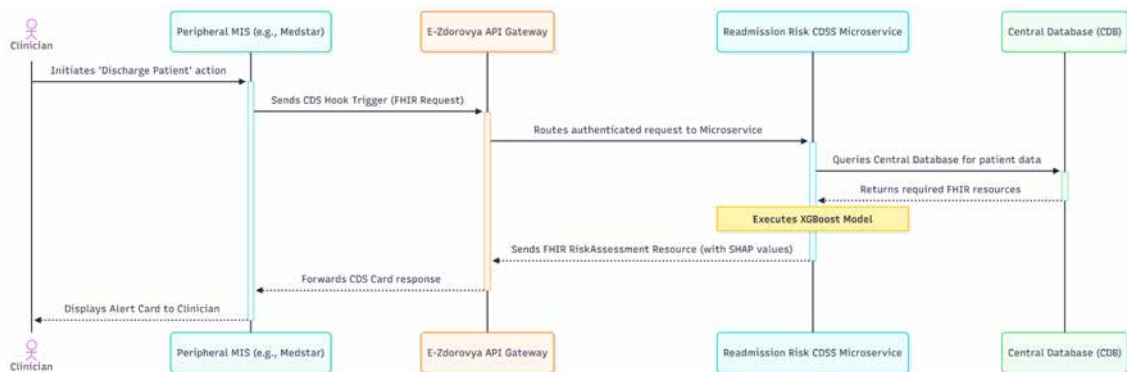
1. **Тригер ("гачок"):** Певна, заздалегідь визначена подія відбувається в рамках робочого процесу клініциста в його периферійній МІС. Для цього випадку найбільш критичним "гачком" є *order-select* або *order-sign* при застосуванні до наказу про виписку. Це означає, що система викликається саме в той момент, коли клініцист завершує оформлення виписки пацієнта з лікарні.
2. **Виклик сервісу:** Коли "гачок" спрацьовує, периферійна МІС автоматично надсилає захищений запит POST на основі HTTPS до зареєстрованого сервісу **СППР**. Цей запит містить контекстну інформацію про пацієнта та подію, упаковану у стандартизований формат JSON.
3. **Відповідь ("Карта"):** Сервіс **СППР** обробляє запит, виконує своє прогнозування та повертає свої рекомендації у формі однієї чи кількох "карт" — об'єктів JSON, що містять інформацію, пропозиції та посилення на подальші дії, які потім відображаються безпосередньо в

**користувачо-орієнтованому дизайні** (інтерфейсі користувача) клініциста.

Ця керована подіями архітектура гарантує, що прогностична модель є не окремим, громіздким інструментом, а інтегрованим, інтелектуальним рівнем у межах існуючого робочого процесу, що забезпечує підтримку прийняття рішень, яка є як своєчасною, так і контекстуально релевантною.

### 3.3. Архітектурна модель: безпечний, централізований прогностичний мікросервіс

Модель **XGBoost** буде розгорнута як захищений, централізований **мікросервіс**. Цей архітектурний патерн ідеально підходить для централізовано-розподіленої моделі електронного здоров'я України.



Пропонований робочий процес є наступним:

1. Клініцист у лікарні готується до виписки пацієнта, використовуючи свою локальну, периферійну МІС (наприклад, Medstar). Він обирає наказ "Виписати пацієнта" (*Discharge Patient*).
2. Ця дія запускає **CDS Hooks** ("гачок" CDS). МІС надсилає захищений запит на основі **FHIR**, що містить унікальні ідентифікатори пацієнта та звернення, до національного **API-шлюзу**, керованого Е-Здоров'ям.
3. **API-шлюз** аутентифікує запит і маршрутизує його до виділеного **Мікросервісу СППР** ризику **повторної госпіталізації**.
4. **Мікросервіс**, використовуючи наданий ідентифікатор пацієнта, виконує захищений запит через центральний API для отримання необхідних, актуальних ресурсів **FHIR** із Центральної Бази Даних (ЦБД). Отримання цих даних базується на заздалегідь визначених "шаблонах попередньої вибірки" (*pre-fetch templates*), встановлених стандартом **CDS Hooks**.

5. **Мікросервіс** виконує попередньо навчену модель **XGBoost**, використовуючи отримані дані як вхідні.
6. Сервіс обчислює остаточний показник ризику та генерує дані **пояснюваного ШІ (XAI) (SHAP-значення)**.
7. Він пакує цей результат у стандартизовану відповідь і надсилає його назад через **API-шлюз** до МІС клініциста у режимі реального часу.

Ця **мікросервісна** архітектура пропонує значні переваги: прогностична логіка може централізовано оновлюватися та підтримуватися без необхідності оновлення програмного забезпечення у всіх 40+ периферійних постачальників МІС; це гарантує, що кожен клініцист у країні використовує точно таку ж валідовану модель; і вона є високомасштабованою та стійкою, узгоджуючись із хмарною стратегією, вже прийнятою Україною.

#### 3.4. Стандартизовані результати та клінічна пояснюваність: ресурс FHIR RiskAssessment з інтегрованим XAI

Основний принцип цієї архітектури полягає в боротьбі з втомлюваністю клініцистів від попереджень та у зміцненні довіри шляхом забезпечення прозорості міркувань моделі. Вихідні дані **мікросервісу СППР** будуть стандартизованим ресурсом **FHIR RiskAssessment** (Оцінка ризику).

Цей ресурс є ідеальним засобом для передачі прогнозу. Він включає поля для ідентифікатора пацієнта, самого показника ризику (наприклад, "Високий ризик") та ймовірності (наприклад, "35% ймовірність **повторної госпіталізації** протягом 30 днів").

Вирішально, новизна цієї архітектури полягає у вбудовуванні вихідних даних **пояснюваного ШІ (XAI)** безпосередньо в цей стандартний ресурс. **SHAP-значення**, згенеровані моделлю, будуть включені в поле *RiskAssessment.rationale* або як спеціальне розширення. Це дозволяє "карті", що відображається клініцисту, показувати не лише попередження, а й чітке, стисле обґрунтування, наприклад:

#### **Високий ризик повторної госпіталізації протягом 30 днів (35%)**

##### **Ключові фактори, що сприяють:**

- +18%: Попередня госпіталізація протягом 6 місяців
- +12%: Призначено >10 лікарських засобів (Поліпрагмазія)
- +8%: Підвищений рівень креатиніну
- -3%: Виписка додому з сімейною підтримкою

Це перетворює прогноз "чорного ящика" на оперативну аналітичну інформацію, що дає змогу клініцисту зрозуміти, чому пацієнт перебуває у зоні ризику, і відповідно спрямувати втручання (наприклад, призначити консультацію фармацевта після виписки для пацієнта з поліпрагмазією).

### 3.5. Безпека, конфіденційність та управління даними

Вся архітектура розроблена для функціонування в рамках існуючої надійної системи безпеки та управління даними України та для її покращення. Безпека є не додатковим елементом, а невіддільною складовою дизайну.

- **Псевдонімізація:** Відповідно до існуючих правил управління Е-Здоров'я, мікросервіс СППР функціонуватиме на псевдонімізованих даних. Він отримуватиме лише неідентифікований ID пацієнта, ніколи — ім'я чи інші прямі особисті ідентифікатори. Це відповідає основним принципам GDPR.
- **Контроль доступу на основі атрибутів (КДОО, АВАС):** Центральний АРІ-шлюз забезпечуватиме суворий контроль доступу. Запит до сервісу СППР буде оброблено лише в тому випадку, якщо користувач, що запитує (клініцист), має відповідну роль, є частиною команди по догляду за пацієнтом і має законну підставу для доступу до даних, як це визначено політикою КДОО.
- **Безпека даних під час передачі (Data in Transit Security):** Уся комунікація між периферійною МІС, АРІ-шлюзом та мікросервісом СППР буде зашифрована з використанням Transport Layer Security (TLS) 1.2 або вище, забезпечуючи конфіденційність та цілісність даних.
- **Узгодженість з Європейським простором медичних даних (EHDS):** Ця архітектура проактивно розроблена для узгодження з принципами EHDS. Використовуючи стандартизований, інтероперабельний формат (FHIR), запроваджуючи суворий контроль доступу на основі згоди (КДОО) та базуючись на міцній основі захисту даних (псевдонімізація), ця система позиціонує інфраструктуру електронного здоров'я України для безперешкодної майбутньої інтеграції з ширшою європейською екосистемою цифрового здоров'я.

### 3.6. Поглиблена архітектура безпеки та моделювання загроз в умовах воєнного стану

Запропонована архітектура Системи підтримки прийняття рішень (СППР) є не лише інноваційним клінічним інструментом, але й компонентом критичної національної інфраструктури. Її ефективність та цінність прямо залежать від здатності надійно функціонувати в умовах безпрецедентних викликів, спричинених повномасштабною війною. Отже, питання безпеки та стійкості перестають бути суто технічними вимогами і перетворюються на стратегічний пріоритет. Цей підрозділ представляє поглиблений аналіз архітектури безпеки, розробленої за принципом "безпека за замовчуванням" (security-by-design) та адаптованої до унікального ландшафту загроз, що стоять перед Україною.

#### 3.6.1. Ландшафт кіберзагроз для eHealth України

Функціонування національної системи eHealth в умовах війни характеризується експоненційним зростанням рівня та складності кіберзагроз. Держава-агресор систематично використовує кібератаки як інструмент гібридної війни, спрямований на дестабілізацію державних інституцій, підрив довіри громадян та параліч критичної інфраструктури, до якої безперечно належить охорона здоров'я.

Специфіка цих загроз для запропонованої СППР включає:

- **Атаки на відмову в обслуговуванні (DDoS):** Масовані атаки, спрямовані на центральний шлюз API «Е-Здоров'я» або безпосередньо на мікросервіс СППР, з метою унеможливити його використання клініцистами в критичний момент виписки пацієнта.
- **Спроби викрадення даних:** Цілеспрямовані атаки на Центральну базу даних (ЦБД) з метою отримання доступу до чутливих медичних даних мільйонів українців, які можуть бути використані для розвідки, шантажу чи дезінформаційних кампаній.
- **Атаки на ланцюги постачання (Supply Chain Attacks):** Це одна з найнебезпечніших загроз в децентралізованій екосистемі МІС. Замість прямої атаки на захищений центральний компонент, зловмисники можуть скомпрометувати одну з понад 40 периферійних компаній-розробників МІС. Використовуючи довірений канал зв'язку цієї МІС із центральною системою, вони можуть намагатися проникнути в периметр, надіслати шкідливі запити або перехопити дані.

Враховуючи цей контекст, архітектура безпеки СППР повинна бути багатоплановою, проактивною та комплексною, охоплюючи не лише технічні засоби, але й процеси розробки та розгортання.

### 3.6.2. Моделювання загроз за методологією STRIDE

Для систематичного аналізу потенційних вразливостей та розробки контрзаходів було застосовано методологію моделювання загроз STRIDE. Ця модель, розроблена Microsoft, дозволяє класифікувати загрози за шістьма категоріями, забезпечуючи комплексний підхід до аналізу безпеки системи.

#### 1. Spoofing (Підміна ідентичності)

- **Загроза:** Зловмисник, що отримав контроль над периферійною МІС, або скомпрометований медичний заклад намагається видати себе за легітимного користувача (клініциста), щоб надсилати неавторизовані запити до мікросервісу СППР та отримувати доступ до даних пацієнтів, до яких він не має відношення.
- **Протидія:**
  - **Взаємна автентифікація на основі сертифікатів (mTLS):**  
Впровадження протоколу mTLS між кожною МІС та шлюзом АРІ «Е-Здоров'я». Це гарантує, що не лише клієнт (МІС) перевіряє сертифікат сервера, але й сервер перевіряє сертифікат клієнта, унеможливаючи підключення неавторизованих систем.
  - **Суворий контроль доступу на основі атрибутів (ABAC):**  
Навіть після успішної автентифікації системи, кожен запит проходить додаткову авторизацію, яка перевіряє, чи має конкретний клініцист законну підставу (наприклад, є лікуючим лікарем пацієнта) для доступу до даних саме цього пацієнта.
- 

#### 2. Tampering (Фальсифікація даних)

- **Загроза:** Зловмисник, що знаходиться в мережі (man-in-the-middle), перехоплює та змінює дані під час передачі. Наприклад, він може змінити діагноз пацієнта у FHIR-ресурсі, що надсилається до моделі, щоб отримати невірний прогноз, або змінити результат (показник ризику та SHAR-значення) у відповіді від сервісу, щоб ввести лікаря в оману.
- **Протидія:**

- **Протокол TLS 1.3:** Весь трафік між МІС, шлюзом АРІ та мікросервісом СППР має бути зашифрований з використанням найсучаснішої версії протоколу Transport Layer Security.
- **Цифрові підписи та перевірка цілісності:** Для додаткового захисту критичних даних можна використовувати цифрові підписи або коди автентифікації повідомлень (НМАС) для забезпечення цілісності та незмінності переданих FHIR-ресурсів та відповіді від СППР.

●

### 3. Repudiation (Неможливість відмови)

- **Загроза:** Система надала клініцисту попередження про високий ризик повторної госпіталізації, але він його проігнорував, що призвело до негативних наслідків для пацієнта. Згодом лікар або медичний заклад може стверджувати, що система не надала попередження або воно не було відображено.
- **Протидія:**
  - **Невід'ємний журнал аудиту (Immutable Audit Log):** Всі взаємодії з мікросервісом СППР мають детально протоколюватися в захищеному від змін журналі. Логи повинні фіксувати кожен етап: отримання запиту від конкретного користувача через конкретну МІС, ідентифікатори пацієнта, передані параметри, згенерований показник ризику, відправлення відповіді та, що критично важливо, отримання підтвердження від МІС про успішне відображення «картки» попередження в інтерфейсі клініциста.

●

### 4. Information Disclosure (Розкриття інформації)

- **Загроза:** Несанкціонований витік чутливих даних пацієнтів. Це може статися через перехоплення незашифрованого трафіку, вразливість у коді мікросервісу або несанкціонований доступ до бази даних чи логів.
- **Протидія:**
  - **Принцип найменших привілеїв:** Мікросервіс СППР має запитувати через АРІ лише той мінімально необхідний набір FHIR-ресурсів, який потрібен для роботи моделі. Він ніколи не повинен мати доступу до всієї медичної картки пацієнта.

- **Наскрізне шифрування та шифрування у стані спокою (at rest):** Окрім шифрування даних під час передачі (in transit) за допомогою TLS, всі дані, що зберігаються (наприклад, логи, кеш), мають бути зашифровані на рівні сховища.
- **Політика псевдонімізації:** Як зазначено раніше, сервіс працює виключно з псевдонімізованими ідентифікаторами пацієнтів, що значно знижує ризики у разі витоку.

●

## 5. Denial of Service (Відмова в обслуговуванні)

- **Загроза:** Перевантаження мікросервісу або шлюзу API величезною кількістю запитів, що робить його недоступним для легітимних користувачів.
- **Протидія:**
  - **Захист на рівні хмарного провайдера:** Використання вбудованих сервісів захисту від DDoS (наприклад, AWS Shield, Azure DDoS Protection), які можуть автоматично виявляти та блокувати шкідливий трафік.
  - **Обмеження частоти запитів (Rate Limiting):** Налаштування на рівні шлюзу API лімітів на кількість запитів, які може надсилати кожна МІС або кожен користувач за певний проміжок часу.
  - **Масштабованість архітектури:** Хмарна архітектура дозволяє автоматично масштабувати ресурси мікросервісу (додавати нові екземпляри) для обробки пікових навантажень.

●

## 6. Elevation of Privilege (Підвищення привілеїв)

- **Загроза:** Зловмисник, маючи доступ з низькими привілеями (наприклад, як молодший медперсонал), знаходить вразливість, яка дозволяє йому підвищити свої права та виконати дії, доступні лише лікарю (наприклад, запитати дані пацієнта з іншого відділення).
- **Протидія:**
  - **Гранулярна політика ABAC:** Система контролю доступу на основі атрибутів є ключовим елементом протидії. Політики доступу мають чітко визначати, що "користувач з роллю 'лікар', який входить до 'команди з догляду' для 'пацієнта X', може запитати 'ресурси типу Condition та Observation'". Будь-який

запит, що не відповідає цій політиці, буде автоматично відхилено шлюзом API.

- **Ізоляція процесів:** Запуск мікросервісу в ізольованому контейнерному середовищі (наприклад, Docker) з мінімально необхідними правами доступу до операційної системи та мережі.



### 3.6.3. Фізична та інфраструктурна стійкість

В умовах війни фізичне знищення локальної інфраструктури (наприклад, серверної кімнати в лікарні) є не теоретичною, а реальною загрозою.

Покладання на локальні обчислювальні ресурси робить систему вкрай вразливою. Запропонована хмарна архітектура є фундаментальною основою для забезпечення фізичної та інфраструктурної стійкості.

- **Географічна надлишковість (Geo-Redundancy):** Архітектура передбачає розгортання інфраструктури щонайменше у двох географічно віддалених хмарних регіонах, розташованих у країнах-партнерах (наприклад, один у ЄС, інший у Північній Америці). Це може бути реалізовано в режимі "active-passive" (один регіон є резервним) або "active-active" (обидва обробляють трафік). У разі повної відмови одного дата-центру або навіть цілого регіону, трафік буде автоматично перенаправлено до іншого, забезпечуючи безперервність надання сервісу.
- **Інфраструктура як код (Infrastructure as Code, IaC):** Уся конфігурація хмарної інфраструктури (віртуальні мережі, сервери, бази даних, налаштування безпеки) описується у вигляді коду за допомогою таких інструментів, як Terraform або AWS CloudFormation. Це дозволяє не лише автоматизувати розгортання, але й забезпечує швидке аварійне відновлення. У разі катастрофічного збою всю інфраструктуру можна відтворити з нуля в будь-якому іншому хмарному регіоні за лічені години, а не дні чи тижні.
- **Незмінні резервні копії (Immutable Backups):** Для захисту від програм-вимагачів (ransomware) та випадкового чи навмисного видалення даних, резервні копії даних (наприклад, логів аудиту та артефактів моделі) зберігаються у сховищах з увімкненим режимом незмінності (наприклад, AWS S3 Object Lock). Це означає, що після запису резервну копію неможливо змінити або видалити протягом визначеного періоду часу навіть адміністратором із найвищими правами доступу.

### 3.6.4. Безпека життєвого циклу розробки (DevSecOps)

Безпека не є одноразовим налаштуванням; це безперервний процес, інтегрований у весь життєвий цикл розробки програмного забезпечення та машинного навчання. Підхід DevSecOps, або "Shift Left Security", передбачає впровадження практик безпеки на якомога більш ранніх етапах.

- **Безпека коду та залежностей:**
  - **Статичний аналіз (SAST):** Автоматичне сканування вихідного коду мікросервісу на наявність поширених вразливостей (наприклад, SQL-ін'єкції, міжсайтовий скриптинг) безпосередньо в CI/CD-пайплайні.
  - **Аналіз компонентів ПЗ (SCA):** Автоматична перевірка всіх сторонніх бібліотек та залежностей, що використовуються в проєкті, на наявність відомих вразливостей (CVE).
- **Безпека моделі машинного навчання:**
  - **Контроль походження даних (Data Provenance):** Ведення записів про те, які дані використовувалися для навчання кожної версії моделі, для забезпечення прозорості та можливості аудиту.
  - **Безпечне зберігання артефактів моделі:** Навчена модель XGBoost є цінним активом. Вона повинна зберігатися в захищеному реєстрі артефактів (наприклад, MLflow, AWS S3 з суворими політиками доступу) та мати цифровий підпис, щоб гарантувати, що в продуктивне середовище розгортається саме та версія моделі, яка пройшла валідацію та тестування.
  - **Моніторинг змагальних атак (Adversarial Attacks):** Хоча це є менш імовірною загрозою для моделей на табличних даних, система повинна моніторити вхідні дані на наявність аномальних патернів, які можуть свідчити про спробу "обдурити" модель.
- **Безпечне розгортання:**
  - **Сканування контейнерів:** Образи Docker, в яких запускається мікросервіс, мають автоматично скануватися на наявність вразливостей перед розгортанням.
  - **Секретний менеджмент:** Усі чутливі дані, такі як ключі API, паролі до баз даних, сертифікати, повинні зберігатися в спеціалізованих захищених сховищах (наприклад, HashiCorp Vault, AWS Secrets Manager) і ніколи не зберігатися у вихідному коді.

Застосування цих поглиблених заходів безпеки та стійкості перетворює запропоновану СППР на надійний, захищений та життєздатний інструмент, здатний ефективно функціонувати та приносити користь системі охорони здоров'я України навіть у найскладніших умовах.

## Розділ 4: Результати досліджень та дорожня карта впровадження

Ця дипломна робота пропонує дизайн нової системи, а не представляє результати існуючої. Отже, цей розділ формує свої "результати" як стратегічний і прагматичний план реалізації системи. Він окреслює поетапну дорожню карту впровадження, розроблену для зниження ризиків проєкту, забезпечення технічної та клінічної життєздатності та сприяння успішному загальнонаціональному розгортанню. Крім того, він звертається до найбільш значущих системних викликів, які необхідно подолати, пропонуючи стратегії пом'якшення, які вбудовані в архітектуру системи та сам план впровадження.

### 4.1. Пропонований план поетапного впровадження

Успішне загальнонаціональне розгортання **СППР (Системи підтримки прийняття рішень)** вимагає продуманого, поетапного підходу. Ця чотирифазова дорожня карта розроблена для переходу від аналітичної валідації до технічного пілотування, клінічного вдосконалення і, нарешті, повномасштабного впровадження, забезпечуючи, щоб кожен крок ґрунтувався на валідованому успіху попереднього.

**Мета:** Розробити та суворо валідувати високопродуктивну, точну та справедливую модель **XGBoost** для прогнозування ризику **повторної госпіталізації** протягом 30 днів із використанням даних національного рівня.

#### **Activities:**

1. **Забезпечення даних (Secure Data Curation):** У співпраці з Міністерством охорони здоров'я та Е-Здоров'ям створити безпечне, ізольоване аналітичне середовище (*air-gapped*). З цією метою з Центральної Базы Даних (ЦБД) буде вилучено великий, псевдонімізований та лонгітюдний набір даних, з дотриманням усіх правил захисту та конфіденційності даних.
2. **Конструювання та відбір ознак:** Розробити всеосяжний, мультимодальний набір ознак, описаний у Розділі 2. Це включатиме обробку структурованих ресурсів **FHIR**, застосування методів НЛП до

клінічних нотаток (якщо вони доступні у придатному для використання форматі) та інтеграцію відповідних даних СЕДЗ.

3. **Навчання та валідація моделі:** Навчити модель **XGBoost**, використовуючи встановлені передові методи науки про дані, включно з k-блоковою перехресною валідацією для запобігання перенавчанню. Продуктивність моделі буде оцінена на відкладеному тестовому наборі, при цьому основною метрикою буде Площа під кривою (AUC), націлюючись на показник продуктивності  $>0,80$ .
4. **Аудит упередженості та справедливості:** Провести ретельний аудит справедливості. Продуктивність моделі буде дезагрегована та проаналізована за ключовими демографічними та регіональними підгрупами для виявлення будь-яких потенційних упереджень (наприклад, відмінностей у показниках хибнонегативних результатів). Будуть внесені корективи до моделі або її порогових значень, щоб пом'якшити ці упередження до розгортання.

**Success Criteria:** A validated XGBoost model that achieves the target AUC of  $>0.80$  and demonstrates equitable performance across key patient populations.

**Goal:** To prove the technical viability and real-world interoperability of the proposed CDS Hooks microservice architecture within Ukraine's multi-vendor MIS ecosystem.

**Activities:**

1. **Microservice Deployment:** Deploy the validated model as a secure, scalable microservice within the national cloud infrastructure.
2. **API Integration:** In partnership with E-Zdorovya, integrate the microservice with the central API gateway.
3. **Multi-Vendor Pilot:** Select 2-3 peripheral MIS vendors with diverse technical stacks to participate in the pilot. Work with them to implement the CDS Hooks trigger mechanism within their discharge workflow and to design the user interface for consuming the FHIR RiskAssessment resource (the "card").
4. **End-to-End Testing:** Conduct rigorous testing of the entire workflow, from the trigger event in the MIS to the return of the risk score. Key metrics will be latency (the time from trigger to response), reliability, and the accuracy of data exchange.

**Критерії успіху:** Успішна комунікація з низькою затримкою між пілотними платформами МІС та центральним мікросервісом СППР від кінця до кінця.

**Мета:** Удосконалити **користувачо-орієнтований дизайн** (інтерфейс користувача) та інтеграцію робочого процесу системи на основі прямого зворотного зв'язку від клініцистів, забезпечуючи, щоб інструмент був не лише точним, але й надійним, корисним та мінімально руйнівним.

**Діяльність:**

1. **Сформуванати Групу клінічних користувачів:** Набрати когорту лікарів та медсестер із пілотних лікарень для участі у дослідженні.
2. **Провести тестування зручності використання (Usability Testing):** Розгорнути систему в контрольованому, живому клінічному середовищі. Провести формальне тестування зручності використання за допомогою валідованих інструментів, таких як Шкала зручності використання системи (System Usability Scale, SUS).
3. **Збір якісного зворотного зв'язку:** Використовувати такі методи, як протоколи мислення вголос, пряме спостереження та напівструктуровані інтерв'ю, щоб зрозуміти, як клініцисти взаємодіють із сповіщеннями. Зосередитися на чіткості даних **пояснюваного ШІ (XAI) (SHAR-значень)** та корисності запропонованих дій.
4. **Ітеративне вдосконалення:** Використовувати зібрані кількісні та якісні дані для ітеративного вдосконалення дизайну "карти" сповіщень, використаної мови та точної точки інтеграції, щоб максимізувати клінічну цінність і мінімізувати тертя у робочому процесі.

**Критерії успіху:** Високі показники SUS, позитивний якісний зворотний зв'язок та низький показник ігнорування сповіщень протягом періоду дослідження, що свідчить про клінічне прийняття та довіру.

**Мета:** Масштабувати повністю валідовану та клінічно вдосконалену **СППР** до національного рівня, створюючи необхідне управління для її постійного обслуговування та покращення.

**Діяльність:**

1. **Розробити Національну стратегію розгортання:** Створити план для підключення всіх інших постачальників МІС у країні.
2. **Програма сертифікації МІС:** Створити формальний процес сертифікації, керований Е-Здоров'ям, який вимагає від усіх постачальників МІС продемонструвати успішну інтеграцію з сервісом **СППР** для підтримки їхньої національної сертифікації.

3. **Національна програма навчання:** Розробити та поширити навчальні матеріали та програми для клініцистів по всій країні щодо того, як інтерпретувати та діяти відповідно до сповіщень про ризик **повторної госпіталізації**.
4. **Створити Фреймворк моніторингу:** Створити постійний фреймворк управління для безперервного моніторингу продуктивності, справедливості та клінічного впливу моделі на національному рівні.

**Критерії успіху:** Успішна інтеграція з більшістю сертифікованих постачальників МІС та створення стійкої програми управління та обслуговування.

#### 4.2. Вирішення основних проблем впровадження

Успіх цієї ініціативи залежить від проактивного вирішення кількох критичних викликів. Дизайн системи та дорожня карта впровадження розроблені для безпосереднього пом'якшення цих ризиків.

Прогностична модель, навчена на різноманітному національному наборі даних, все ще може демонструвати зниження продуктивності при застосуванні до конкретних субпопуляцій або регіонів з унікальними демографічними та клінічними характеристиками. Цей "розрив у генералізації" становить значний ризик. Крім того, якщо модель ненавмисно вивчить упередження, присутні в історичних даних, це може призвести до несправедливого розподілу ресурсів після виписки пацієнта.

#### **Mitigation Strategy:**

**Постійний моніторинг після розгортання:** Фреймворк управління, створений у Фазі 4, повинен включати постійний, автоматизований моніторинг продуктивності моделі. Цей моніторинг має бути дезагрегований за регіонами, лікарнями та ключовими демографічними факторами, щоб швидко виявляти будь-яке погіршення продуктивності або нові упередження.

**Фреймворк для локального перекалібрування:** Система повинна бути архітектурно розроблена так, щоб дозволяти локальне перекалібрування. Якщо виявлено, що модель недостатньо ефективна для конкретного регіону, може бути використаний процес трансферного навчання (*transfer learning*) для доналаштування національної моделі локальними даними, підвищуючи її регіональну точність без необхідності перенавчання з нуля. Це гарантує, що

система залишається як надійною на національному рівні, так і точною на локальному.

Найбільший бар'єр для успіху будь-якої СППР — це "втомлюваність від сповіщень" (*alert fatigue*) — схильність перевантажених клініцистів ігнорувати або скасовувати системні сповіщення. Це є прямим наслідком низької якості сповіщень та відсутності довіри до систем "чорного ящика".

#### **Mitigation Strategy:**

**Пояснюваність (XAI) як основна ознака:** Як детально описано у Розділі 3, інтеграція SHAR-значень у ресурс FHIR *RiskAssessment* є обов'язковою. Надаючи чітке, стисле обґрунтування для кожного прогнозу високого ризику, система зміцнює довіру та перетворює сповіщення з руйнівного попередження на корисну діагностичну інформацію.

**Користувачо-орієнтований дизайн:** Фаза 3 дорожньої карти повністю присвячена цьому виклику. Спільне проектування інтерфейсу сповіщень та робочого процесу з клініцистами-кінцевими користувачами гарантує, що кінцевий продукт є інтуїтивно зрозумілим, придатним до використання та надає справжню цінність, а не збільшує їхнє когнітивне навантаження.

СППР має бути архітектурно розроблена так, щоб надійно функціонувати у середовищі, що характеризується потенційними фізичними пошкодженнями інфраструктури та кіберзагрозами. Система, яка покладається на крихке локальне обладнання в місцевих лікарнях, не була б життєздатною.

#### **Mitigation Strategy:**

- **Хмарна мікросервісна архітектура:** Запропонована архітектура є стійкою за своєю суттю. Розгортаючи прогностичну модель як централізований, хмарний **мікросервіс**, основна логіка системи відокремлюється від фізичної інфраструктури окремих лікарень. Це гарантує, що навіть якщо в місцевій лікарні станеться відключення електроенергії або збій сервера, національний сервіс СППР залишиться працездатним і доступним для всіх інших підключених закладів. Це безпосередньо узгоджується з ширшою стратегією України щодо використання міжнародних хмарних потужностей для гарантування безперервності критичної цифрової інфраструктури під час війни.

- **Надійні протоколи безпеки:** Ця архітектура, у поєднанні зі стратегіями незмінних резервних копій та передовими заходами безпеки, керованими Е-Здоров'ям, забезпечує високий рівень стійкості та цілісності даних, необхідний для ефективної роботи у цьому контексті високої ворожості.

#### 4.3. Аналіз ризиків та стратегії їх мінімізації



| Ризик (Risk)  | Опис (Description)   | Стратегія пом'якшення (Mitigation Strategy)   |
|---|--|---|
| <p><b>Низька якість даних (Poor Data Quality)</b></p> | <p>Неузгоджене або неповне введення даних у понад 40 різних постачальників МІС ставить під загрозу вхідні ознаки прогностичної моделі.</p>               | <p>Основоположна архітектура системи є основним пом'якшенням. Система електронного здоров'я України вимагає, щоб усі постачальники МІС підключалися до Центральної Бази Даних через контрольований державою API. Цей API забезпечує дотримання стандарту HL7 FHIR гарантуючи, що дані структуруються уніфікованому, передбачуваному та машинозчитуваному форматі перед тим, як їм можна буде використовувати для аналізу незалежно від того, з якої МІС вони походять.</p>                            |
| <p><b>Опір постачальників (Vendor Resistance)</b></p> | <p>Приватні постачальники МІС можуть повільно або неохоче впроваджувати нову інтеграцію CDS Hooks ("гачки" CDS), затримуючи національне розгортання.</p> | <p>Модель управління електронним здоров'ям забезпечує сильний механізм вертикального примусу, оскільки підключення до центрального контрольованого державою API є обов'язковим для всіх постачальників. Крім того, поетапна дорожня карта впровадження пропонує Технічний пілот (Фаза 2) з обраною групою партнерів МІС. Цей спільний підхід продемонструє цінність і створить чіткий технічний шлях та стимул для інших постачальників прийняти стандарт для загальнонаціонального впровадження.</p> |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p><b>Низький рівень клінічного прийняття</b><br/>(Low Clinical Adoption)</p> | <p>Клініцисти, особливо в умовах високого стресу воєнного часу, можуть відчувати втомлюваність від сповіщень або недовіру до прогнозу "чорного ящика", що призведе до ігнорування рекомендацій системи.</p> | <p>Система розроблена спеціально для зміцнення довіри та корисності. 1. <b>Пояснюваність (XAI)</b> СППР використовуватиме SHAP-значення, щоб надати чітке, стисле обґрунтування для кожного прогнозу ризику, перетворюючи його з "чорного ящика" на оперативну аналітичну інформацію. 2. <b>Користувачо-орієнтований дизайн:</b> Фаза впровадження присвячена Тестуванню зручності використання, де група клінічних користувачів надаватиме прямий зворотний зв'язок з допомогою формальних методів (таких як Шкала зручності використання системи) та якісних інтерв'ю для ітеративного вдосконалення сповіщень, забезпечуючи, щоб вони були корисними та мінімально руйнівними.</p> |
| <p><b>Невдача генералізації моделі</b><br/>(Model Generalization Failure)</p> | <p>Прогностична модель, навчена на різноманітному національному наборі даних, все ще може працювати погано при застосуванні до конкретного регіону або субпопуляції з унікальними характеристиками.</p>     | <p>Фреймворк управління, створений у Фазі 4, включає дві конкретні стратегії для вирішення цієї проблеми. 1. <b>Постійний моніторинг продуктивності моделі</b> буде безперервно та автоматично контролюватися після розгортання, результати будуть дезагредовані за регіонами та лікарнями для швидкого виявлення будь-якого погіршення продуктивності або появи попереджень. 2. <b>Локальне перекалібрування</b> Система буде архітектурно розроблена так, щоб дозволити локальне доналаштування. Якщо модель недостатньо ефективна в конкретному регіоні, може бути використаний процес трансферного навчання для перекалібрування національної моделі локальними даними.</p>       |

## Висновки

У цій магістерській роботі розглянуто критичний виклик незапланованих повторних госпіталізацій до стаціонару протягом 30 днів, пропонуючи

всебічне рішення, адаптоване до унікального контексту національної системи електронного здоров'я України. Дослідження продемонструвало, що шляхом синтезу передової науки про дані із сучасною, інтероперабельною технічною архітектурою, можна спроектувати потужну **СППР (Систему підтримки прийняття рішень)**, здатну підвищити якість догляду, покращити ефективність системи та зміцнити національну стійкість.

Ключові висновки цього дослідження є такими:

1. **Нагальність зменшення кількості повторних госпіталізацій в Україні є надзвичайно високою.** Функціонуючи в умовах суворого напруження війни, система охорони здоров'я України повинна максимально підвищувати ефективність кожного клінічного ресурсу. Запобігання **госпіталізаціям**, яких можна уникнути, є прямою та ефективною стратегією для зменшення навантаження на перевантажених клініцистів та напружені лікарняні заклади, роблячи впровадження прогностичної **СППР** не просто питанням оптимізації, а стратегічним імперативом.
2. **Передові ансамблеві методи, зокрема XGBoost, є оптимальним аналітичним рушієм для цього завдання.** Ретельний огляд методів моделювання показав, що в той час як традиційним моделям бракує необхідної прогностичної потужності, модель **XGBoost** пропонує чудовий баланс високої точності ( $AUC > 0,80$ ), надійності в обробці складних клінічних даних і, що вирішально, здатність до інтерпретації за допомогою методів **пояснюваного ШІ (XAI)**, таких як **SHAP-значення**. Ця **пояснюваність** має першочергове значення для побудови клінічної довіри, необхідної для успішного прийняття.
3. **Запропонована архітектура FHIR та CDS Hooks є технічно здійсненою та стратегічно обґрунтованою для України.** Дизайн системи використовує наявні, перспективні інвестиції країни в інфраструктуру електронного здоров'я, що базується на **FHIR**. Розгортаючи прогностичну модель як централізований **мікросервіс** та інтегруючи її в клінічний робочий процес за допомогою керованого подіями стандарту "гачки" **CDS (CDS Hooks)**, рішення забезпечує доставку підтримки прийняття рішень у режимі реального часу з низькою затримкою по всій фрагментованій екосистемі МІС з численними постачальниками. Ця архітектура є масштабованою, безпечною та стійкою.
4. **Поетапне, користувачо-орієнтоване впровадження є критичним для успіху.** Визнаючи, що найбільші виклики часто є людськими та

системними, а не технічними, це дослідження пропонує продуману чотирифазову дорожню карту впровадження. Переходячи від валідації моделі до технічного пілотування та цілеспрямованого клінічного дослідження зручності використання перед національним масштабуванням, цей підхід знижує ризики проекту та гарантує, що кінцева система є не лише точною, але й корисною, надійною та безперешкодно інтегрованою в щоденну роботу клініциста.

На завершення, запропонована **СППР** являє собою значний крок вперед у цифровій зрілості системи охорони здоров'я України. Завдяки проактивній ідентифікації пацієнтів із ризиком та наданню клініцистам оперативної, **пояснюваної** аналітичної інформації, ця система може безпосередньо призвести до покращення результатів лікування пацієнтів та більш ефективного розподілу ресурсів. Окрім цих негайних клінічних переваг, дотримання архітектурою сучасних стандартів інтероперабельності та безпеки зміцнює стратегічне узгодження України з Європейським простором медичних даних (EHDS), відкриваючи шлях для глибшої інтеграції та забезпечуючи, що цифрова інфраструктура здоров'я нації є міцною, стійкою та готовою до майбутнього.

## Список посилань

1. *6 Common Challenges in EHR Implementation* - Office Practicum, <https://www.officepracticum.com/blog/6-common-challenges-in-ehr-implementation>
2. *6 Ways Mobile Applications Can Benefit Your Practice* | RXNT, <https://www.rxnt.com/6-ways-mobile-applications-can-benefit-your-practice/>
3. *7 Key Benefits of EHR Systems* - Bouvé College of Health Sciences, <https://bouve.northeastern.edu/news/7-key-benefits-of-ehr-systems/>
4. [2403.09722] *Enhancing Readmission Prediction with Deep Learning: Extracting Biomedical Concepts from Clinical Texts* – arXiv, <https://arxiv.org/abs/2403.09722>
5. *A Case Study for Blockchain in Healthcare*: - HealthIT.gov, [https://www.healthit.gov/sites/default/files/5-56-one\\_blockchainchallenge\\_mitwhitepaper.pdf](https://www.healthit.gov/sites/default/files/5-56-one_blockchainchallenge_mitwhitepaper.pdf)
6. *A Detailed Guide to Mobile EHR Applications for Healthcare Developers* - OSP Labs, <https://www.osplabs.com/insights/a-complete-guide-to-mobile-ehr-applications-for-healthcare-developers/>

7. *A Mixed-Method Study of Older Adults With Varying Levels of Health Literacy and Prior Patient Portal Use* - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5391436/>
8. *A Nordic Perspective on Patient Online Record Access and the European Health Data Space* - Journal of Medical Internet Research, <https://www.jmir.org/2024/1/e49084/>
9. *A Nordic Perspective on Patient Online Record Access and the European Health Data Space* - PMC - PubMed Central, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11240068/>
10. *A preliminary look at duplicate testing associated with lack of electronic health record interoperability for transferred patients*, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2995707/>
11. *A Review of Challenges and Opportunities in Machine Learning for Health* - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7233077/>
12. *Accelerating European electronic health record exchange format (EEHRxF) implementation across Europe: a policy perspective* - Frontiers, <https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2025.1648170/full>
13. *Accuracy of Readmission Risk Assessment Improved by Machine Learning* - Health Catalyst, <https://www.healthcatalyst.com/learn/success-stories/machine-learning-to-reduce-readmissions-mission-health>
14. *Assessing the Performance of a Modified LACE Index (LACE-rt) to Predict Unplanned Readmission After Discharge in a Community Teaching Hospital* - Interactive Journal of Medical Research, <https://www.i-jmr.org/2017/1/e2/>
15. *Blockchain for Healthcare Data Security* - Identity Management Institute®, <https://identitymanagementinstitute.org/blockchain-for-healthcare-data-security>
16. *Blockchain in Health Care Innovation: Literature Review and Case Study From a Business Ecosystem Perspective* - Journal of Medical Internet Research, <https://www.jmir.org/2020/8/e19480/>
17. *Blockchain in healthcare: Improving data security and transparency*, <https://healthcaretransformers.com/data-privacy-and-security/blockchain-in-healthcare/>
18. *Case study on the Digitalisation of health (eHealth)* – European Commission, [https://commission.europa.eu/document/download/652a3175-d410-4608-8f0e-642049433c35\\_en?filename=case-study-on-the-digitalisation-of-health-ehealth.pdf](https://commission.europa.eu/document/download/652a3175-d410-4608-8f0e-642049433c35_en?filename=case-study-on-the-digitalisation-of-health-ehealth.pdf)
19. *Clinicalreasoning-cds-on-fhir* - FHIR v6.0.0-ballot3 - HL7 FHIR Specification, <https://build.fhir.org/clinicalreasoning-cds-on-fhir.html>

20. *Cost of a data breach 2024: Financial industry* - IBM, <https://www.ibm.com/think/insights/cost-of-a-data-breach-2024-financial-industry>
21. *Cost of a data breach: The healthcare industry* - IBM, <https://www.ibm.com/think/insights/cost-of-a-data-breach-healthcare-industry>
22. *Costs of Technological Frictions: Evidence from EHR (Non-)Interoperability* - Kelsey Moran, [https://kelseymoran.github.io/files/moran\\_jmp.pdf](https://kelseymoran.github.io/files/moran_jmp.pdf)
23. *cryptography in healthcare - secure medical records - CHAPTER I*, [https://scholars.csus.edu/view/pdfCoverPage?instCode=01CALUS\\_USL&filePid=13287777200001671&download=true](https://scholars.csus.edu/view/pdfCoverPage?instCode=01CALUS_USL&filePid=13287777200001671&download=true)
24. *Development and Evaluation of a Machine Learning Model for Predicting 30-Day Readmission in General Internal Medicine* - MDPI, <https://www.mdpi.com/2073-431X/14/5/177>
25. *Development and Internal Validation of an Interpretable Machine Learning Model to Predict Readmissions in a United States Healthcare System* - MDPI, <https://www.mdpi.com/2227-9709/10/2/33>
26. *Diia*, <https://expo.diia.gov.ua/>
27. *Digital health apps and telemedicine in Ukraine | CMS Expert Guides*, <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-digital-health-apps-and-telemedicine/ukraine>
28. *Digital health intervention reconnects war-affected people living with HIV to healthcare: Ukraine case study* - Oxford Academic, <https://academic.oup.com/oodh/article/doi/10.1093/oodh/oqaf001/7945619>
29. *Digital Health Records: Improving Efficiency and Patient Care* - Park University, <https://www.park.edu/blog/digital-health-records-improving-efficiency-and-patient-care/>
30. *E-prescription and urgent online doctor's consultation: how the Helsi service works for Ukrainians in Ukraine and abroad*, <https://visitukraine.today/es/blog/1650/e-prescription-and-urgent-online-doctors-consultation-how-the-helsi-service-works-for-ukrainians-in-ukraine-and-abroad>
31. *EHR interoperability challenges and solutions – EHR in Practice*, <https://www.ehrinpractice.com/ehr-interoperability-challenges-solutions.html>
32. *Ehr-fm - FHIR v6.0.0-ballot3*, <https://build.fhir.org/ehr-fm.html>

33. *Electronic Health Record Stress and Burnout Among Clinicians in Hospital Settings: A Systematic Review* - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10734365/>
34. *Electronic Health Records Market Size | Industry Report, 2030* - Grand View Research, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/electronic-health-records-ehr-market>
35. *Electronic patient records: why the NHS urgently needs a strategy to reap the benefits*, <https://www.health.org.uk/reports-and-analysis/analysis/electronic-patient-records-nhs-strategy>
36. *Emerging Technology in Healthcare: The Increasing Development of At-Home Tools*, <https://www.gehealthcare.com/insights/article/emerging-technology-in-healthcare-the-increasing-development-of-at-home-tools>
37. *Enhancing EHR Interoperability and Security through Distributed Ledger Technology: A Review* - PMC - PubMed Central, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11477175/>
38. *European Health Data Space (EHDS)*, <https://www.european-health-data-space.com/>
39. *European Health Data Space (EHDS)*, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/740054/IPOL\\_STU\(2022\)740054\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/740054/IPOL_STU(2022)740054_EN.pdf)
40. *European Health Data Space Regulation (EHDS)*, [https://health.ec.europa.eu/ehealth-digital-health-and-care/european-health-data-space-regulation-ehds\\_en](https://health.ec.europa.eu/ehealth-digital-health-and-care/european-health-data-space-regulation-ehds_en)
41. *Evaluating Algorithmic Bias in 30-Day Hospital Readmission Models: Retrospective Analysis* - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11066744/>
42. *Facilitating patient portal engagement: a channel expansion and behavior change wheel perspective* - Frontiers, <https://www.frontiersin.org/journals/communication/articles/10.3389/fcomm.2024.1272825/full>
43. (PDF) *Factors Influencing the Adoption of Advanced Cryptographic Techniques for Data Protection of Patient Medical Records* - ResearchGate, [https://www.researchgate.net/publication/360496286\\_Factors\\_Influencing\\_the\\_Adoption\\_of\\_Advanced\\_Cryptographic\\_Techniques\\_for\\_Data\\_Protection\\_of\\_Patient\\_Medical\\_Records](https://www.researchgate.net/publication/360496286_Factors_Influencing_the_Adoption_of_Advanced_Cryptographic_Techniques_for_Data_Protection_of_Patient_Medical_Records)
44. *Factors Influencing the Adoption of Advanced Cryptographic Techniques for Data Protection of Patient Medical Records* - PMC - PubMed Central, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9117802/>

45. *Fast Healthcare Interoperability Resources* – Wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Fast\\_Healthcare\\_Interoperability\\_Resources](https://en.wikipedia.org/wiki/Fast_Healthcare_Interoperability_Resources)
46. *FHIR® - Fast Healthcare Interoperability Resources® - About*,  
<https://ecqi.healthit.gov/fhir/about>
47. *From Data to Decisions: Leveraging Predictive Analytics to Transform for Hospital Readmissions* | MGH IHP, <https://www.mghihp.edu/news-and-more/opinions/data-analytics/data-decisions-leveraging-predictive-analytics-transform-hospital-readmissions>
48. *Generalizability challenges of mortality risk prediction models: A retrospective analysis on a multi-center database* | PLOS Digital Health - Research journals,  
<https://journals.plos.org/digitalhealth/article?id=10.1371/journal.pdig.0000023>
49. *Global Acute Care EHR Market Share: Number of New EHR Contracts in 2024 Reaches a High* - KLAS Research,  
<https://engage.klasresearch.com/blog/global-acute-care-ehr-market-share-number-of-new-ehr-contracts-in-2024-reaches-a-high/7975/>
50. *Health Care in the Dark: The Impacts of Russian Attacks on Energy in Ukraine* - PHR, <https://phr.org/our-work/resources/health-care-in-the-dark-attacks-on-energy-in-ukraine/>
51. *Health financing in Ukraine: reform, resilience and recovery*,  
[https://www.who.int/docs/librariesprovider2/default-document-library/vii---ukraine-hf-final-july-03-upd-authors.pdf?sfvrsn=fc4cbbda\\_2&download=true](https://www.who.int/docs/librariesprovider2/default-document-library/vii---ukraine-hf-final-july-03-upd-authors.pdf?sfvrsn=fc4cbbda_2&download=true)
52. *Healthcare Data Breach Statistics* - The HIPAA Journal,  
<https://www.hipaajournal.com/healthcare-data-breach-statistics/>
53. *Hidden Costs of an Unreliable EHR* - Athenahealth,  
<https://www.athenahealth.com/resources/blog/hidden-costs-of-an-unreliable-ehr>
54. *Hospital Readmissions Reduction Program* - CMS,  
<https://www.cms.gov/medicare/payment/prospective-payment-systems/acute-inpatient-pps/hospital-readmissions-reduction-program-hrrp>
55. *Hospital Readmissions Reduction Program* - CMS,  
<https://www.cms.gov/medicare/quality/value-based-programs/hospital-readmissions>
56. *How the war in Ukraine threatens hospital cybersecurity — and what to do about it* | AAMC, <https://www.aamc.org/news/how-war-ukraine-threatens-hospital-cybersecurity-and-what-do-about-it>

57. *How to use predictive analytics in healthcare* - Athenahealth,  
<https://www.athenahealth.com/resources/blog/using-predictive-analytics-in-healthcare>
58. *IDC MarketScape: Europe Electronic Healthcare Record 2023-2024 Vendor Assessment*, <https://www.intersystems.com/resources/idc-marketscape-europe-electronic-healthcare-record-ehr-vendor-assessment/>
59. *Impact of Electronic Health Record Interoperability on Telehealth Service Outcomes* - PMC, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8790688/>
60. *Impact of Socioeconomic Status on Mortality and Readmission in Patients With Heart Failure With Reduced Ejection Fraction: The ARIC Study*,  
<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/JAHA.121.024057>
61. *Implementation of the electronic health record in the German healthcare system: an assessment of the current status and future development perspectives...* - PubMed Central,  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11116711/>
62. *Improving Hospital Readmission Prediction using Individualized Utility Analysis* - medRxiv,  
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.07.26.20156943.full>
63. *Individuals' Access and Use of Patient Portals and Smartphone Health Apps, 2022*, <https://www.healthit.gov/data/data-briefs/individuals-access-and-use-patient-portals-and-smartphone-health-apps-2022>
64. *Influence of socioeconomic factors on hospital readmissions for heart* - Dove Medical Press, <https://www.dovepress.com/influence-of-socioeconomic-factors-on-hospital-readmissions-for-heart--peer-reviewed-fulltext-article-CIA>
65. *Insight into the Digital Health System of Ukraine (eHealth): Trends, Definitions, Standards, and Legislative Revisions* - PubMed Central,  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10754247/>
66. *Insight into the Digital Health System of Ukraine (eHealth): Trends, Definitions, Standards, and Legislative Revisions*,  
<https://telerehab.hpu.edu/index.php/Telerehab/article/download/6599/7094>
67. *Integrating a risk prediction score in a clinical decision support to identify patients with health-related social needs in the emergency department | SIREN*, <https://sirenetwork.ucsf.edu/tools-resources/resources/integrating-risk-prediction-score-clinical-decision-support-identify>
68. *Integrating Mobile Health App Data Into Electronic Medical or Health Record Systems and Its Impact on Health Care Delivery and Patient Health Outcomes: Scoping Review* - PMC,  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12208509/>

69. *Interoperability in Healthcare Explained* - Oracle, <https://www.oracle.com/health/interoperability-healthcare/>
70. *Key Capabilities of Purpose-Built Mobile EHR Software* - Empeek, <https://empeek.com/insights/mobile-ehr/>
71. *Key Features and Challenges in Mobile Health App Development* - Appinventiv, <https://appinventiv.com/blog/mhealth-development-features-and-challenges/>
72. *Machine Learning and Interpretability Study for Predicting 30-Day Unplanned Readmission Risk of Schizophrenia*, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12315903/>
73. *Machine Learning Approach to Reduce Alert Fatigue Using a Disease Medication-Related Clinical Decision Support System: Model Development and Validation*, <https://medinform.jmir.org/2020/11/e19489/>
74. *Machine learning for hospital readmission prediction in pediatric population* - PubMed, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38134648/>
75. *Machine learning for predicting readmission risk among the frail: Explainable AI for healthcare* - PMC - PubMed Central, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8767300/>
76. *Machine learning methods for hospital readmission prediction: systematic analysis of literature* | Request PDF - ResearchGate, [https://www.researchgate.net/publication/358227397\\_Machine\\_learning\\_methods\\_for\\_hospital\\_readmission\\_prediction\\_systematic\\_analysis\\_of\\_literature](https://www.researchgate.net/publication/358227397_Machine_learning_methods_for_hospital_readmission_prediction_systematic_analysis_of_literature)
77. *Medical Information System Medstar* - Software Development Hub, <https://sdh.global/projects/mis/>
78. *Medical notifications from your doctor are now in Diia* | Donetsk Regional State Administration, <https://dn.gov.ua/en/news/medychni-spovishchennia-vid-likaria-teper-i-u-dii>
79. *National E-Health system* - Edenlab, <https://edenlab.io/case/national-e-health-system>
80. *National eHealth system* | Kodjin, <https://kodjin.com/cases/national-ehealth-system/>
81. *New features in Diia: medical data of Ukrainians will appear in the app* | YHH, <https://unn.ua/en/news/new-features-in-diia-medical-data-of-ukrainians-will-appear-in-the-app>
82. *PAPER SICK LEAVE AFTER OCTOBER 1, 2021* - EBS, <https://www.ebskyiv.com/en/paper-sick-leave-after-october-1-2021/>
83. (PDF) *ARCHITECTURAL PATTERNS FOR AI-ENABLED TRIAGE AND CRISIS PREDICTION SYSTEMS IN PUBLIC HEALTH PLATFORMS* -

ResearchGate,

[https://www.researchgate.net/publication/395673422\\_ARCHITECTURAL\\_PATTERNS\\_FOR\\_AI-ENABLED\\_TRIAGE\\_AND\\_CRISIS\\_PREDICTION\\_SYSTEMS\\_IN\\_PUBLIC\\_HEALTH\\_PLATFORMS](https://www.researchgate.net/publication/395673422_ARCHITECTURAL_PATTERNS_FOR_AI-ENABLED_TRIAGE_AND_CRISIS_PREDICTION_SYSTEMS_IN_PUBLIC_HEALTH_PLATFORMS)

- 84.(PDF) *Cybersecurity enhancement in the field of eHealth system development in Ukraine*,  
[https://www.researchgate.net/publication/387494749\\_Cybersecurity\\_enhancement\\_in\\_the\\_field\\_of\\_eHealth\\_system\\_development\\_in\\_Ukraine/download](https://www.researchgate.net/publication/387494749_Cybersecurity_enhancement_in_the_field_of_eHealth_system_development_in_Ukraine/download)
- 85.(PDF) *Deploying Predictive Models in Low-Resource Healthcare Settings: Challenges and Innovations* - ResearchGate,  
[https://www.researchgate.net/publication/392512405\\_Deploying\\_Predictive\\_Models\\_in\\_Low-Resource\\_Healthcare\\_Settings\\_Challenges\\_and\\_Innovations](https://www.researchgate.net/publication/392512405_Deploying_Predictive_Models_in_Low-Resource_Healthcare_Settings_Challenges_and_Innovations)
- 86.*Perceived Electronic Health Record Usability as a Predictor of Task Load and Burnout Among US Physicians: Mediation Analysis* – Journal of Medical Internet Research, <https://www.jmir.org/2020/12/e23382/>
- 87.*Predicting 30-day hospital readmissions using ClinicalT5 with structured and unstructured electronic health records* - PMC,  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12404500/>
- 88.*Predicting 30 Days Hospital Readmission for Heart Failure patients using word embeddings* | medRxiv,  
<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2025.02.07.25321871v1.full-text>
- 89.*Prediction of 30-day hospital readmission with clinical notes and EHR information* arXiv, <https://arxiv.org/html/2503.23050v1>
- 90.*Prediction of 30-day hospital readmission with clinical notes and EHR information* arXiv, <https://arxiv.org/abs/2503.23050>
- 91.*Prediction of Unplanned Hospital Readmission using Clinical and Longitudinal Wearable Sensor Features*,  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10120790/>
- 92.*Predicting Readmission Among High-Risk Discharged Patients Using a Machine Learning Model With Nursing Data: Retrospective Study* - JMIR Medical Informatics, <https://medinform.jmir.org/2025/1/e56671>
- 93.*Progress on implementing and using electronic health record systems* | OECD, [https://www.oecd.org/en/publications/progress-on-implementing-and-using-electronic-health-record-systems\\_4f4ce846-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/progress-on-implementing-and-using-electronic-health-record-systems_4f4ce846-en.html)

94. *Revolutionizing healthcare: The power of artificial intelligence in clinical workflows*, <https://www.merative.com/blog/artificial-intelligence-for-clinical-workflows>
95. *Scandinavia Private Healthcare Clinics EHR Market Size by 2031* - Metastat Insight, <https://www.metastatinsight.com/report/scandinavia-private-healthcare-clinics-ehr-market>
96. *Seven Benefits of Electronic Health Records - Graduate Programs* - University of Scranton, <https://gradadmissions.scranton.edu/blog/articles/healthcare/benefits-electronic-health-records.shtml>
97. *Survey of Clinicians: User satisfaction with electronic health records has decreased since 2010* | ACP Online - American College of Physicians, <https://www.acponline.org/acp-newsroom/survey-of-clinicians-user-satisfaction-with-electronic-health-records-has-decreased-since-2010>
98. *The Biggest Barriers to Healthcare Interoperability* - Health Catalyst, <https://www.healthcatalyst.com/learn/insights/healthcare-interoperability-barriers-solutions>
99. *The effect of conflict on damage to medical facilities in Mariupol, Ukraine: A quasi-experimental study* - PMC - PubMed Central, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11734947/>
100. *The future of Ukrainian healthcare: the digital opportunity* - PMC - PubMed Central, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12491902/>
101. *The Health Ministry's action plan to protect Ukrainians from unsafe and ineffective medicines*, <https://moz.gov.ua/en/effective-medicines-regulations-in-ukraine-the-health-ministry%E2%80%99s-action-plan-to-protect-ukrainians-from-unsafe-and-ineffective-medicines>
102. *The Impact of Electronic Health Record Interoperability on Safety and Quality of Care in High-Income Countries: Systematic Review*, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9523524/>
103. *The impact of the European Health Data Space Regulation and the Open Data Directive on citizens* | data.europa.eu, <https://data.europa.eu/en/publications/reports/impact-european-health-data-space-regulation-and-open-data-directive-citizens>
104. *The Integration of Telemedicine and EHR Software for Seamless Patient Care* - talkEHR, <https://www.talkehr.com/post/integration-of-telemedicine-and-ehr-software>
105. *The role of artificial intelligence for the application of integrating electronic health records and patient-generated data in clinical decision support*, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11141850/>

106. *Three years of war: rising demand for mental health support, trauma care and rehabilitation*, <https://www.who.int/europe/news/item/24-02-2025-three-years-of-war-rising-demand-for-mental-health-support-trauma-care-and-rehabilitation>
107. *Ukraine has fully switched to electronic sick leave since October 1: how it works*, <https://moz.gov.ua/en/ukraine-has-fully-switched-to-electronic-sick-leave-since-october-1-how-it-works>
108. *Ukraine Strengthens the Public Health System to Tackle New Challenges* - World Bank, <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2025/07/07/ukraine-strengthens-the-public-health-system-to-tackle-new-challenges>
109. *Ukraine's Digital Transformation: Innovation for Resilience* | Harvard Kennedy School, <https://www.hks.harvard.edu/centers/cid/voices/ukraines-digital-transformation-innovation-resilience>
110. *Ukraine's health ministry presents new digital healthcare projects at the first UNDP-supported eHealth Summit*, <https://www.undp.org/ukraine/press-releases/ukraines-health-ministry-presents-new-digital-healthcare-projects-first-undp-supported-ehealth-summit>
111. *Ukraine's Healthcare Crisis: Sustainable Strategies for Navigating Conflict and Rebuilding for a Resilient Future* - MDPI, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11602>
112. *ukrainian-healthcare-system-in-2024-a-comprehensive-report-final-1.pdf* - Swecare, <https://www.swecare.se/media/okhd3tkg/ukrainian-healthcare-system-in-2024-a-comprehensive-report-final-1.pdf>
113. *Ukrainian eHealth Joins Global GovTech Intelligence Hub* - Kodjin, <https://kodjin.com/blog/ehealth-joins-global-govtech-intelligence-hub/>
114. *Usability of the Swedish Accessible Electronic Health Record: Qualitative Survey Study*, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9264119/>
115. *Using Electronic Health Record Portals to Improve Patient Engagement: Research Priorities and Best Practices* | *Annals of Internal Medicine* - ACP Journals, <https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M19-0876>
116. *Victory of digitalization over bureaucracy: electronic sick leave launched in Ukraine*, <https://moz.gov.ua/en/victory-of-digitalization-over-bureaucracy-electronic-sick-leave-launched-in-ukraine>

117. *What are the core functions of EHR? – EHR in Practice,*  
<https://www.ehrinpractice.com/ehr-core-functions.html>
118. *What Is a Clinical Decision Support System – A Complete Guide for 2025 - CapMinds,* <https://www.capminds.com/blog/clinical-decision-support-system-all-you-need-to-know/>
119. *What is HL7 and Its Importance to Healthcare | Radsourcse,*  
<https://radsourcse.us/what-is-hl7-in-healthcare/>
120. *What is NSZU?? – Клініка "Надія Одеса",*  
<https://nadiyaodesa.com.ua/en/shho-take-nszu/>
121. *Who are the largest EHR vendors? - EHR in Practice,*  
<https://www.ehrinpractice.com/largest-ehr-vendors.html>

## Додатки